

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

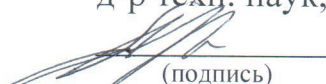
Институт электроники и светотехники

Кафедра источников света

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

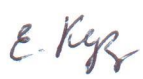
д-р техн. наук, доц.

 А. А. Ашрятов
(подпись)

« 19 » 06 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА СВЕТОДИОДНОГО
ИСТОЧНИКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Автор бакалаврской работы  06.06.2019 Е. А. Кузнецов
(подпись) (дата)

Обозначение бакалаврской работы БР – 02069964 – 11.03.04 – 10 – 19

Направление 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Руководители работы
ст. преп.  06.06.2019 Н. П. Нестеркина
(подпись) (дата)

канд. техн. наук, доц.  06.06.2019 Ю. А. Журавлева
(подпись) (дата)

Нормоконтролер
ст. преп.  06.06.2019 Н. П. Нестеркина
(подпись) (дата)

Саранск

2019

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»


Институт электроники и светотехники

Кафедра источников света

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой

д-р техн. наук, доц.

 А. А. Ашрятов

(подпись)

« 18 » 04 2019 г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

(в форме бакалаврской работы)

Студент Кузнецов Евгений Александрович

1 Тема «Разработка макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения»

Утверждена приказом № 9809-с от 22 ноября 2018 г.

2 Срок представления работы к защите 10 июня 2019 г.

3 Исходные данные для исследования (проектирования): светодиодные и разрядные лампы, нормативная документация.

4 Содержание выпускной квалификационной работы

4.1. Обзор источников ультрафиолетового излучения.

4.2 Создание макетного образца СД источника УФ излучения.

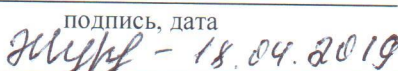
4.3 Проведение экспериментальных исследований макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения.

Руководители работы
ст. преп.

 18.04.2019

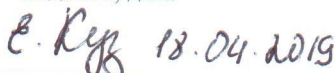
Н. П. Нестеркина

канд. техн. наук, доц.

 - 18.04.2019

Ю. А. Журавлева

Задание принял к исполнению

 18.04.2019

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 82 страницы, 40 рисунков, 19 таблиц, 24 использованных источника.

СВЕТОДИОДНАЯ ЛАМПА, ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ЛАМПА, КОЛБА, ДРАЙВЕР, СВЕТОДИОД, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТОК, МОЩНОСТЬ, СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ, МАКЕТНЫЙ ОБРАЗЕЦ, ЦОКОЛЬ.

Цель работы – разработка макетного образца светодиодной ультрафиолетовой лампы для прямой замены люминесцентной лампы ЛУФТ 10 П.

В результате работы был проведен анализ источников ультрафиолетового излучения отечественного и зарубежного производства, конструкций и характеристик ультрафиолетовых светодиодов, разработан макетный образец ультрафиолетовой светодиодной лампы, осуществлено исследование электрических и энергетических характеристик макетного образца.

В ходе исследований получены следующие результаты:

- мощность макетного образца 9 Вт;
- доминирующая длина волны излучения макетного образца составляет 365 нм;
- максимальное спектральное излучение равно $2,88 \cdot 10^{-3}$ Вт/нм;
- энергетический поток макетного образца равен 610 мВт.

Степень внедрения – частичная.

Рекомендации по внедрению – для разработки светодиодных ультрафиолетовых ламп на основе этого образца.

					БР-02069964-11.03.04-10-19			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	РАЗРАБОТКА МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кузнецов	<i>Е. Куз</i>	08.06.19				
Провер.		Нестеркина	<i>Нест</i>	06.06.19			3	82
Реценз.						ИЭС, каф. ИС, д\о, 412		
Н. Контр.		Нестеркина	<i>Нест</i>	06.06.19				
Утверд.		Ашратов	<i>Ашрат</i>	19.06.19				

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Источники ультрафиолетового излучения – разрядные ртутные лампы низкого давления	8
1.1 Бактерицидные лампы	8
1.2 Эритемные лампы	18
1.3 Ультрафиолетовые лампы специального назначения	24
2 Светодиодные источники оптического излучения	31
2.1 Принцип работы ультрафиолетовых светодиодов	31
2.2 Устройство и конструкции светодиодов	33
2.3 Светодиодные источники ультрафиолетового излучения	36
3 Создание макетного образца СД источника УФ излучения	43
3.1 Выбор компонентов для создания макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения	43
3.1.1 Выбор колбы	44
3.1.2 Подбор светодиодов	49
3.1.3 Выбор источника питания	51
3.1.4 Подбор цоколей	57
3.2 Сборка макетного образца	59
4 Проведение экспериментальных исследований макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения	64
4.1 Описание метрологического комплекса	64
4.2 Определение времени стабилизации характеристик макетного образца	69
4.3 Измерение энергетического потока и мощности	71
4.3.1 Методы измерений энергетического потока излучения	71
4.3.2 Методы измерений электрических параметров	73
4.3.3 Измерение начальных параметров макетного образца	75

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

4.4 Исследования спектральных характеристик	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	80

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
						5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ВВЕДЕНИЕ

Светодиодные ультрафиолетовые лампы в качестве источника излучения используют ультрафиолетовые светодиоды. Светодиодная лампа является одним из самых экологически чистых источников света. Принцип свечения светодиодов позволяет применять в производстве и работе лампы безопасные компоненты. Светодиодные лампы не используют веществ, содержащих ртуть, поэтому они не представляют опасности в случае выхода из строя и повреждения колбы.

Области, где используются источники ультрафиолетового излучения, разнообразны: сельское хозяйство, медицина, промышленность, криминалистика, полиграфия и другие. Каждое направление использует только те лампы, которые подходят под их специфические цели. Медицина активно эксплуатирует способность ультрафиолета убивать микроорганизмы и бактерии. В кабинетах и палатах больниц проводят дезинфекцию воздуха в помещении с помощью УФ лучей бактерицидной лампы. Воздействие излучения УФ-ламп на воду убивает болезнетворные вирусы и бактерии без изменения вкуса жидкости. Рабочий диапазон 250-280 нм обеспечивает стерилизацию воздуха и воды, разрушая ДНК опасных микроорганизмов.

В полиграфии УФ-лампы применяются для быстрой сушки красок и лаков, для получения высококачественного глянца. Проверка денежных купюр, акцизных марок, ценных бумаг и другой защищенной продукции – это еще одна сфера применения ультрафиолетовых ламп. В кассах магазинов, банках, обменных пунктах используются портативные ультрафиолетовые детекторы, предназначенные для визуальной проверки купюр.

С помощью ультрафиолетового излучения криминалисты могут обнаруживать следы различных веществ (крови, взрывчатки, отравляющих веществ и т.д.), невидимые в обычном свете, следы изменения в документах

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

и многое другое. Ультрафиолетовые лампы также могут применяться для облучения домашних питомцев из теплых стран, где солнце ярко светит круглый год.

Целью бакалаврской работы является разработка макетного образца светодиодной ультрафиолетовой лампы для прямой замены люминесцентной лампы ЛУФТ 10 П.

Задачами данной бакалаврской работы являются:

- анализ источников ультрафиолетового излучения отечественного и зарубежного производства;
- анализ конструкций и характеристик ультрафиолетовых светодиодов;
- создание макетного образца ультрафиолетовой лампы;
- исследование электрических и энергетических характеристик макетного образца.

Новизна бакалаврской работы – это создание макетного светодиодного аналога ультрафиолетовой люминесцентной лампы ЛУФТ 10 П, результаты экспериментальных исследований макетного образца, сравнение измеренных характеристик макетного образца с характеристиками ультрафиолетовой лампы ЛУФТ 10 П.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Источники ультрафиолетового излучения – разрядные ртутные лампы низкого давления

Источники оптического излучения в УФ области спектра широко применяются практически во всех областях жизнедеятельности человека:

- медицина;
- дезинфекция воздуха, воды и поверхностей;
- уничтожение бактерий, вирусов;
- воспаление дефицита витамина D в организме;
- ловля насекомых;
- косметология;
- пищевая промышленность;
- полиграфия;
- криминалистика;
- сельское хозяйство для облучения животных и птиц и т.д

УФ излучение занимает спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучениями.

Спектр УФ - излучения делится на три диапазона [19]:

- UV-A - длинноволновое (315 - 400 нм);
- UV-B - средневолновое (280 - 315 нм);
- UV-C - коротковолновое (100 - 280 нм).

1.1 Бактерицидные лампы

Бактерицидное излучение – электромагнитное излучение ультрафиолетового диапазона длин волн в интервале от 205 до 315 нм, вызывающее гибель бактерий [7]. Необратимая коагуляция белка бактерий, возникающая в результате действия на них УФ излучения, приводит к гибели бактерий. Способность УФ излучения убивать бактерии принято называть

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

бактерицидностью. Бактерицидными свойствами обладают далеко не все излучения, так как для разрыва связей молекул белкового вещества бактерий необходима значительная энергия — порядка $377 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}$, что соответствует энергии фотонов УФ излучения с длиной волны $\lambda = 300 \text{ нм}$. Как показывает опыт, наибольшей бактерицидной эффективностью обладают УФ излучения с длинами волн 254 - 258 нм.

На рисунке 1.1 приведены графики зависимости уничтоженных бактерий монохроматическими излучениями с различными длинами волн в функции энергетической экспозиции.

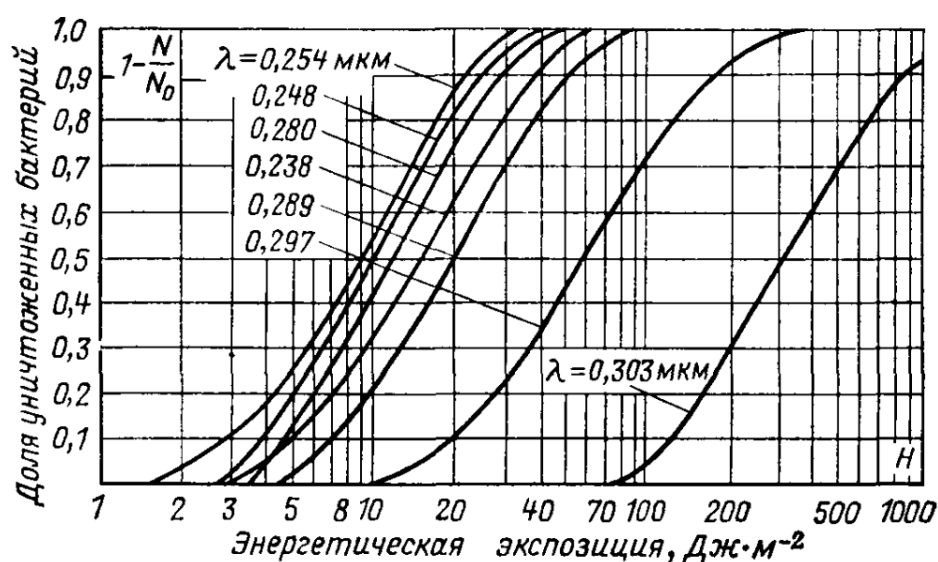


Рисунок 1.1 - Зависимости уничтоженных бактерий монохроматическими излучениями с различными длинами волн в функции энергетической экспозиции

Из анализа этих графиков можно сделать следующие выводы:

- при уменьшении и увеличении длины волны излучения по сравнению с длинами волн оптимальной зоны спектра (254 – 258 нм) происходит резкое снижение бактерицидной эффективности излучения;
- прирост количества уничтоженных бактерий в первом приближении пропорционален увеличению логарифма энергетической экспозиции, причем

коэффициент пропорциональности этой зависимости практически одинаков для всех длин волн;

– 10 - 20 - кратное увеличение энергетической экспозиции, необходимой для уничтожения 10% общего числа бактерий, приводит практически к полному их уничтожению.

Рассматривая бактерии как некоторый специфический приемник энергии излучения, можно характеризовать его относительной спектральной чувствительностью, определяемой отношением минимального значения энергетической экспозиции с $\lambda = 254$ нм и энергетической экспозиции с заданной длиной волны, обеспечивающей такое же бактерицидное действие.

Кривая относительной спектральной бактерицидной эффективности излучения (таблица 1.1) была установлена по результатам исследования действия излучения на бактерии различных разновидностей [2]. Пользуясь значениями относительной бактерицидной эффективности излучения, можно создать систему бактерицидных величин и единиц.

Таблица 1.1 – Относительная спектральная бактерицидная эффективность излучения $V_{бк}(\lambda)$

λ , нм	$V_{бк}(\lambda)$ в областях	λ , нм	$V_{бк}(\lambda)$ в областях	
	УФ-С и УФ-В		УФ-С и УФ-В	УФ-А
220	0,25	302	0,045	
230	0,40	300	0,030	—
240	0,63	310	0,013	—
248	0,84	313	0,006	0,00200
250	0,91	315	0,003	0,00300
254	1,00	320	—	0,00400
260	0,99	325	—	0,00250
265	0,96	330	—	0,00160
270	0,87	334	—	0,00130
275	0,72	340	—	0,00090
280	0,58	350	—	0,00046
285	0,43	360	—	0,00030
289	0,31	365	—	0,00023
290	0,30	370	—	0,00019
295	0,17	380	—	0,00015
297	0,10	390	—	0,00012
300	0,06	400	—	0,00010

Согласно принятому положению бактерицидный поток определится как поток излучения, оцениваемый по его бактерицидному действию, т.е. по способности уничтожать бактерии:

$$\Phi_{\text{бк}} = \int_{200 \text{ нм}}^{400 \text{ нм}} \varphi_e(\lambda) K_{\text{бк}} d\lambda \quad (1.1)$$

где φ_e - спектральная плотность потока излучения;

$K_{\text{бк}}$ – функция бактерицидной эффективности излучения, бк*Вт⁻¹.

Единицей бактерицидного потока принято считать бакт (бк), численно равный бактерицидному потоку ультрафиолетового излучения мощностью 1 Вт с длиной волны $\lambda = 254$ нм.

Вследствие очень высокой активности УФ излучений на практике приходится встречаться с бактерицидными потоками, составляющими тысячные и миллионные доли бакта, поэтому часто пользуются производной единицей – микробактом (мкбк).

В разработанном в настоящее время проекте стандарта «Излучение ультрафиолетовое. Величины и единицы. Термины и определения» единицами бактерицидного потока и бактерицидной энергии приняты «Ватт бактерицидного потока» и «Джоуль бактерицидной энергии». Безразмерная в этом случае функция $K_{\text{бк}}(\lambda)$ обозначена $V_{\text{бк}}(\lambda)$.

Измерение плотности бактерицидного облучения обычно производится фотоэлементом с исправляющими фильтрами. Вследствие трудности подбора исправляющих фильтров для обеспечения узкой полосы пропускания бактерицидного излучения часто пользуются методом измерения яркости люминофора (силикат цинка) с кривой возбуждения, близкой к кривой бактерицидной эффективности излучения. В этом случае перед фотоэлементом устанавливается черный фильтр из увиолевого стекла УФС-1, за которым располагается люминесцирующее вещество, яркость которого определяет ток фотоэлемента, расположенного за люминофором.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Для защиты фотоэлемента от действия длинноволнового ультрафиолета, крайних фиолетовых и красных, а также инфракрасных лучей, проходящих через УФС-1 и слой люминофора, между ним и фотоэлементом помещаются оранжевый фильтр ОС-8 и сине-зеленый фильтр СЗС-9. Фильтр ОС-8 предназначен для поглощения фиолетовых и ультрафиолетовых излучений, а фильтр СЗС-9 – красных и инфракрасных.

Такой прибор, предложенный Д. П. Лазаревым и П. П. Захаровым (ГОИ), можно непосредственно градуировать по плотности бактерицидного облучения.

Источником бактерицидного излучения может служить любая ртутная лампа низкого и высокого давлений с колбой из кварца или увиолевого стекла

Бактерицидные лампы - это ртутные разрядные лампы низкого давления, колбы которых выполнены из увиолевого стекла, прозрачного для ультрафиолетового излучения с длиной волны 253,7 нм (коротковолновое излучение UV-C) обладающего наибольшим бактерицидным действием. При этом колба лампы не пропускает ультрафиолетового излучения с длиной волны менее 200 нм, что исключает образование озона. Специальная защитная пленка, нанесенная на внутреннюю поверхность колбы, обеспечивает стабильную работу лампы на протяжении всего срока службы, а специальная защитная пленка, нанесенная на внешнюю поверхность колбы, при повреждении лампы предотвращает распространение осколков стекла и паров ртути, вредных для организма человека. Наличие защитного пленочного покрытия делает лампы экологически безопасными в использовании. Такие лампы (рисунок 1.2) имеют обозначение ДБ 55 П (Д - дуговая, Б - бактерицидная, 55 - мощность в Ваттах, П - покрыта защитной пленкой) (таблица 1.2).

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12



Рисунок 1.2 – Бактерицидная лампа типа ДБ

В таблице 1.2 представлены характеристики бактерицидных ламп, выпускаемых отечественной промышленностью.

Таблица 1.2 – Параметры бактерицидных ламп типа ДБ, выпускаемых отечественной промышленностью

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Бактерицидный поток, бк	Продолжительность горения, ч
ДБ-15	15	54	2,0	2000
ДБ-30-1	30	104	6,0	3000
ДБ-60 (в увиолевом стекле)	60	100	8,0	2000
ДБР-8 (в кварцевом стекле)	8	58	3,0	4000
ДБ 55 П	55	80	17,0	9000

Спектр излучения бактерицидных ламп линейчатый с мощной линией $\lambda = 254$ нм, поток которой составляет примерно 80% всего излучаемого потока лампы (таблица 1.2). Остальные линии ртути, расположенные в полосе поглощения бактериями, обладают очень малой эффективностью, вследствие чего их бактерицидный поток составляет менее 0,3% бактерицидного потока линии 254 нм.

Широкую номенклатуру бактерицидных ламп выпускает НИИС им. А. Н. Лодыгина (таблицы 1.3 – 1.5) [8].

Таблица 1.3 – Лампы ртутные низкого давления бактерицидные

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Сила тока, А	Продолжительность горения, ч	Поток излучения, Вт
ДБ 4 М	4	29	0,17	5000	0,7
ДБ 6 М	6	42	0,16	5000	1,5
ДБ 8 М	8	56	0,15	2000	2,1
ДБ 15 М	15	54	0,33	9000	4,0
ДБ 30 М	30	104	0,36	9000	10,0
ДБ 36 М	36	103	0,43	9000	12,5
ДБ 60 М	60	100	0,70	9000	18,0
ДБ75-2	75	100	0,89	12000	26,0

Таблица 1.4 – Лампы ртутные низкого давления кварцевые бактерицидные

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Сила тока, А	Продолжительность горения, ч	Поток излучения, Вт
ДБК 4	4	29	0,15	2000	0,6
ДБК 6	6	42	0,16	3000	1,8
ДБК 8	8	58	0,18	3000	3,1
ДБК 18	18	60	0,35	4000	6,5
ДБК 30	30	104	0,36	8000	10,0
ДБК 36	36	122	0,38	8000	11,0
ДБК 60	60	100	0,70	8000	18,0
ДБК 75	75	108	0,84	8000	26,0

Таблица 1.5 – Лампы ртутные низкого давления компактные бактерицидные

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Сила тока, А	Поток излучения, Вт
ДКБ 5	5	34	0,185	1,1
ДКБУ 5	5	34	0,185	1,1
ДКБ 7	7	45	0,180	1,5
ДКБУ 7	7	45	0,180	1,5
ДКБ 9	9	60	0,170	2,4
ДКБУ 9	9	60	0,170	2,4
ДКБ 11	11	90	0,155	3,6
ДКБУ 11	11	90	0,155	3,6

Параметры бактерицидных ламп зарубежного производства (фирмы Phillips) представлены в таблице 1.6 [10].

Таблица 1.6 – Параметры бактерицидных ламп фирмы Phillips

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Излучение УВ-С, Вт	Продолжительность горения, ч
TUV 8W FAM/10X25BOX	8	56	2,4	11000
TUV 11W 4P SE UNP/32	11	43	2,6	11000
TUV 11W FAM/10X25BOX	11,5	34	2,6	11000
TUV 16W FAM/10X25BOX	15	43	4,0	11000

Линейка ламп TUV TL Mini компании Phillips представлена на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 - Линейка ламп TUV TL Mini компании Phillips

Бактерицидные лампы применяются для:

- очистки воздуха;
- дезинфекции комнат,
- дезинфекции медицинских предметов;
- обеззараживания воды;
- дезинфекции столовых приборов и посуды;
- общего улучшения микроклимата.

Обеззараживание воздуха бактерицидными лампами проводят в помещениях лечебных и детских учреждений, а также в помещениях с массовым пребыванием людей (школы, театры, магазины и пр.). В тех случаях, когда обеззараживание воздуха происходит в присутствии людей, необходимо предусмотреть верхний предел плотности бактерицидного облучения в тех зонах, где находятся люди. Это ограничение необходимо

потому, что чрезмерная доза бактерицидного облучения может вызывать повышенную эритему кожи, воспаление слизистых оболочек глаз, а также раздражение слизистых оболочек дыхательных путей озоном, получающимся в результате фотополимеризации молекул кислорода воздуха при поглощении ими УФ-излучения. Учитывая это, следует избегать плотности бактерицидного облучения в зоне пребывания людей более $E_{\text{ок}} = 0,5 \cdot 10^4$ мкбк*м⁻² при ежедневном пребывании людей в облучаемом помещении 8 ч.

Как показывают опыт и расчеты бактерицидных установок, этим требованиям соответствует удельная объемная мощность установки с бактерицидными лампами 0,75 - 1 Вт*м⁻³. Лампы, экранированные от глаз людей, находящихся в помещении, защитной решеткой или алюминиевым отражателем, располагаются в верхней части облучаемого помещения. В помещениях детских учреждений для обеззараживания воздуха рекомендуется использовать излучение, отраженное от потолка и верхней части стен. При наличии в помещениях организованного воздухообмена целесообразно бактерицидные лампы размещать в приточных воздуховодах из расчета 2 - 3 Вт*м⁻³ объема вентилируемого помещения.

Большой практический интерес представляют установки для обеззараживания питьевой воды. Как показывает опыт эксплуатации таких установок, замена хлорирования воды бактерицидным облучением снижает стоимость очистки воды и обеспечивает отсутствие специфического запаха и привкуса, неизбежных при хлорировании.

В напорных водопроводных системах бактерицидные излучатели помещаются в потоке воды. Для защиты излучателей от охлаждения протекающей водой лампы устанавливаются внутри цилиндрических кварцевых чехлов, которые размещаются в камерах, последовательно обтекаемых водой (рисунок 1.3) Камеры включаются в главный трубопровод водопроводной системы. При помощи перегородок, расположенных внутри каждой камеры, происходит перемешивание воды и направление водяных

1.2 Эритемные лампы

Эритемное излучение – ультрафиолетовое (УФ) излучение, заключенное в спектральной области спектра от 280 до 380 - 400 нм и оказывающее в малых дозах полезное действие на организм человека и животных.

Практика применения оптического излучения для лечебных целей основана на опыте тонизирующего и терапевтического действия солнечных лучей. Широкое применение фототерапии за последние 50 лет позволило установить главенствующую роль УФ излучения в терапевтическом и тонизирующем действии на организм человека. В настоящее время известно действие УФ излучения на обмен веществ, дыхательные процессы, активизацию кровообращения, повышение содержания гемоглобина в составе крови, а также на активизацию деятельности желез внутренней секреции и на другие функции человеческого организма. Активизация многих функций организма в результате поглощения фотонов УФ излучения обеспечивает оздоровительное и тонизирующее влияние на человека [12].

В настоящее время принято считать, что главную роль в тонизирующем и терапевтическом действии УФ излучения играют расширение кровеносных сосудов и последующие за этим реакции организма в результате действия гистамина. На основании этого мерой тонизирующего и терапевтического действия излучения принято считать степень покраснения кожи в результате ее облучения. Покраснение кожи в результате воздействия на нее УФ излучения и воспаленное состояние облученного участка тела принято называть эритемой. Эритема наступает по истечении нескольких часов (2 - 5) после облучения, что отличает ее от гиперемии — покраснения кожи в результате теплового действия видимых и инфракрасных излучений [13].

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Значение эритемной экспозиции, возбуждающей едва заметное покраснение кожи незагорелого человека (эритема первой степени), принято называть эритемной дозой или биодозой. При увеличении эритемной экспозиции сверх биодозы краснота переходит в воспалительный процесс, достигающий болезненного ожога при 4 - 5 дозах облучения и появления волдырей на коже при 8 - 10 дозах.

Условность понятия биодозы, широко применяемого в терапевтической практике, определяется приближенностью закона Бунзена - Роско применительно к общебиологическому действию УФ излучения. Практикой установлено, что пороговая эритема наблюдается при 1 биодозе лишь в тех случаях, когда время облучения не менее 10 с и не более 1 ч.

При малых плотностях облучения, когда время действия излучения, соответствующее одной биодозе, равно нескольким часам, продукты фотохимических реакций, вызывающие эритему, будут частично восстанавливаться или удаляться из организма в результате обмена веществ, что приведет к ослаблению биологического действия излучения. При малом времени облучения биологическая эффективность излучения понижается вследствие уменьшения эффективного поглощения фотонов УФ излучения в эпидермисе облучаемого участка кожи.

Как показывает опыт, эритемная эффективность неодинакова для монохроматических излучений различных длин волн (таблица 1.7). Максимальной эффективностью обладают излучения с длиной волны $\lambda = 297$ нм. Значения относительной эритемной эффективности монохроматических излучений были определены величиной, обратной эритемной дозе. Максимум эритемной эффективности, принятый условно за единицу, соответствует излучению с длиной волны $\lambda = 297$ нм. Наличие резкой избирательной эритемной эффективности следует объяснить различной глубиной проникновения излучения и различием спектров активного поглощения излучения тканями организма.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

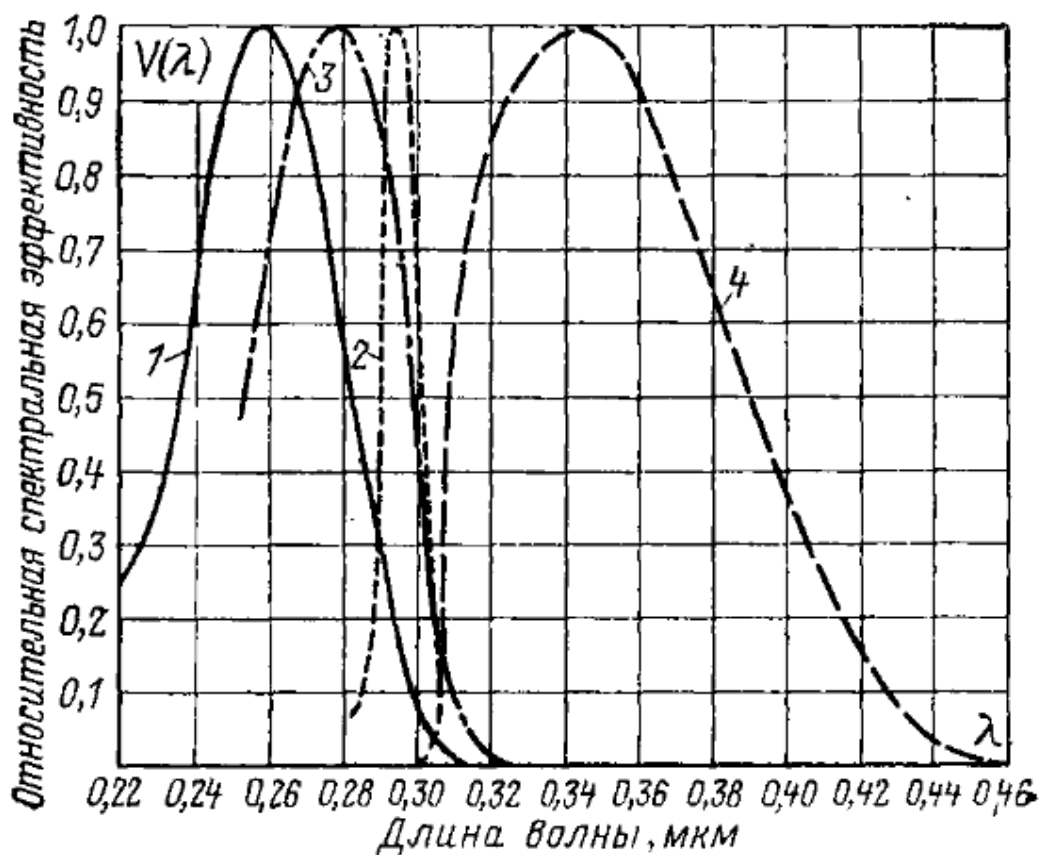
Таблица 1.7 - Относительная спектральная эритемная эффективность излучения $V_{эр}(\lambda)$

λ , нм	$V_{эр}(\lambda)$ в областях		λ , нм	$V_{эр}(\lambda)$ в областях	
	УФ-В	УФ-А		УФ-В	УФ-А
280	—	—	320	—	0,01
285	0,09	—	325	—	0,007
289	0,25	—	330	—	0,005
290	0,31	—	334	—	0,004
295	0,98	—	340	—	0,003
297	1,00	—	350	—	0,002
300	0,83	—	360	—	0,0014
302	0,55	—	365	—	0,0012
305	0,33	—	370	—	0,0011
310	0,11	—	380	—	0,0007
313	0,025	0,005	390	—	0,0003
315	0,01	0,008	400	—	—

Существенным фактором тонизирующего и терапевтического действия излучения является образование из эргостерина и холестерина витамина D. Недостаток в организме человека витамина D, возникающий часто в северных районах в результате ультрафиолетовой недостаточности, вызывает расстройство фосфорно-кальциевого обмена и другие патологические сдвиги, приводящие, в особенности в детском возрасте, к рахиту. Как показали многочисленные наблюдения, систематические облучения организма ликвидируют недостаток витамина D и этим уничтожают все последующие патологические сдвиги в организме.

Процесс образования витамина D при облучении организма принято рассматривать как первичный этап антирахитного действия излучения. Эффективность этого вида тонизирующего и терапевтического действия также неодинакова для однородных излучений различных длин волн. На рисунке 1.5, кроме кривой спектральной эффективности образования витами-

на D (кривая 3), изображены кривые спектральной эритемной и бактерицидной эффективности излучения, а также кривая эффективности безэритемной пигментации (спектральная кривая загарного действия).



1 – бактерицидная; 2 – эритемная; 3 – антирахитная; 4 – загарная.

Рисунок 1.5 – Относительная спектральная эффективность в функции длины волны излучения

Приняв за основу оценки эффективности общебиологического действия излучения критерий эритемного действия, можно ввести понятие о новой системе эффективных величин – системе эритемных величин и единиц для их измерения. Создание такой системы приведет к упрощению оценки эффективности источников излучения для установок тонирующего и терапевтического облучения, а также методов проектирования и расчета таких установок. Согласно принятой методике построения системы эффекти-

вных величин эритемным потоком принято считать поток излучения, оцениваемый по его общебиологическому действию на организм человека, сопровождаемому образованием эритемы на облучаемых участках кожи:

$$\Phi_{\text{эр}} = \int_{0.28 \text{ мкм}}^{0.40 \text{ мкм}} \varphi_e(\lambda) K_{\text{эр}} d\lambda \quad (1.2)$$

где φ_e - спектральная плотность потока излучения;

$K_{\text{эр}}$ – функция эритемной эффективности излучения, эр*Вт⁻¹.

Единицей эритемного потока принято считать эр, численно равный эритемному потоку ультрафиолетового излучения с длиной волны $\lambda = 297$ нм и мощностью 1 Вт. На практике обычно пользуются дробной единицей – миллиэром (мэр). Минимальная эритемная экспозиция, вызывающая эритему первой степени, называемая эритемной дозой (биодозой), численно равна 300 эр*м⁻².

Для создания установок эритемного облучения в настоящее время широко применяются ртутные эритемные лампы, предназначенные для использования УФ излучения; они разработаны и изготавливаются отечественной промышленностью двух типов: низкого (таблица 1.8) и высокого давления с отражающим покрытием (таблица 1.9) в колбах из увиолевого стекла.

Эритемные люминесцентные лампы излучают в области 300 - 310 нм. Используются люминофоры Э1 (фосфат кальция и цинка, активированный таллием - 312 нм), Э2 (фосфат кальция, цинка, магния, активированный таллием) или Э3 (силикат бария, цинка, активированный свинцом - 300-305 нм).

Лампы мощностью 30 и 40 Вт - рефлекторные; 15 и 30 Вт – обычного исполнения. Трубка-колба изготавливается из увиолевого стекла, пропускающего УФ-излучение.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Таблица 1.8 – Параметры эритемных ртутных люминесцентных ламп низкого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Эритемный поток, мэр	Эритемная облученность, мэр*м ²	Продолжительность горения, ч
ЛЭ-15	15	127 - 220	300	32	1500
ЛЭ-30-1	30	220	750	75	5000
ЛЭР-30	30	220	1000	120	3000
ЛЭР-40	40	220	1600	140	1500

Таблица 1.9 – Параметры эритемных ртутных ламп высокого давления с внутренним отражающим покрытием в колбах

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Эритемный поток, мэр	Эритемная облученность, мэр*м ²	Световой поток, лм	Продолжительность горения, ч
ДРВЭД-220-250	250	220	550	120	3150	1500
ДРВЭД-220-250-2	250	220	600	100	3250	1500
ДРВЭД-220-250-3	250	220	400	2000	3150	1500

Эритемные лампы применяются в сельском хозяйстве, медицине, технике, а также для облучения людей, работающих в помещениях без естественного света, для устранения ультрафиолетовой недостаточности. Лампы люминесцентные эритемные включаются в сеть с помощью пускорегулирующей аппаратуры (ПРА). Эритемные лампы высокого давления со встроенным балластом (в виде спирали лампы накаливания) и внутренним отражающим покрытием включаются в сеть $U = 220$ В без ПРА.

1.3 Ультрафиолетовые лампы специального назначения

Широкая номенклатура УФ источников излучения выпускается для специфических способов применения.

Лампы в «черном» стекле применяются для исследования материалов с помощью люминесценции: в криминалистике, для выявления подлинности банкнот, для создания световых эффектов. Внутренняя поверхность колбы люминесцентных ламп (ЛЛ) "Черного света" покрыта люминофором, испускающим длинноволновое УФ излучение, возбуждающее свечение люминесцирующих материалов. Темно-синяя стеклянная колба пропускает УФ - А излучение. Излучение в видимом диапазоне сведено к минимуму, чтобы оно не мешало люминесцентному излучению облучаемого материала. Лампы черного света 'TL (D)/08 выполнены в линейных трубчатых колбах и работают в сети переменного тока с ПРА и стартером. Лампа PL-S 9W/08 состоит из двух спаянных вместе люминесцентных трубок; лампа PL-S 9W 2P дополнительно содержит встроенный в цоколь стартер, обеспечивающий быстрое зажигание лампы (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 - Люминесцентные лампы "Черного света"

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

Области применения люминесцентные лампы "Черного света":

- контроль и анализ в текстильной и химической промышленности;
- археология;
- банковское дело;
- криминалистика;
- пищевая промышленность;
- медицина;
- минералогия;
- филателия;
- специальные эффекты в ночных клубах, дискотеках и театрах;
- подсветка вывесок.

За рубежом выпускаются Актиничные ЛЛ, цвет /05. Лампы 'TL' /05 испускают излучение в диапазоне длин волн между 300 и 460 нм с максимумом в 365 нм. Лампы 'TL' /05 предназначены для применения в диазотипных машинах.

Спектр излучения ламп 'TL' /05 привлекает насекомых, поэтому их можно использовать в ловушках для насекомых.

Области применения ламп 'TL' /05:

- диазотипные (полиграфические) машины;
- ловушки для насекомых;
- фотохимические процессы.

Сверхактиничные, цвет /03 - это трубчатые ртутные лампы низкого давления. Стенка трубки покрыта изнутри люминофором. Люминофор превращает коротковолновое УФ излучение ртутного разряда в полезное актиничное излучение. Лампы 'TL' /03 дают излучение в диапазоне длин волн 380-480 нм с максимумом в 420 нм. Спектральное распределение излучения ламп 'TL' /03 соответствует спектральной чувствительности ряда специальных бумаг, используемых в диазотипных машинах. Лампы 'TL' /03 'AQUA CORAL' вместе с полноспектральными люминесцентными лампами

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

дневной цветности могут использоваться для воспроизведения красоты аквариумов с морской водой.

Области применения ламп 'TL' /03:

- диатипные копировальные машины;
- аквариумы с морской водой;
- фототерапия (лечение желтухи у новорожденных младенцев).

Трубчатые малогабаритные лампы CLEO Compact, так называемые спагетти, испускают излучение, сконцентрированное в диапазоне длин волн 300-400 нм. Лампы производятся с двумя различными соотношениями излучений УФ-В / УФ-А, а именно, 1.2 % и 2.3 % (УФ-В диапазон: 280-315 нм). Для УФ-В диапазона 280-320 нм эти отношения составляют 2.1 % и 3.5 %, соответственно. Более высокое отношение УФ-В / УФ-А обозначается символом - S (Super) в типе лампы. Рефлекторные (-R) типы ламп имеют внутренний отражатель с поперечным углом охвата 200°, что увеличивает интенсивность прямого излучения лампы на 70 %. Компактная одноцокольная лампа PL-L, дающая УФ излучение в диапазоне 300-400 нм, состоит из двух спаянных трубок, помещенных в четырех-штырьковый цоколь (2G11). Лампа работает со стандартным ПРА для ламп 36/40 Вт и со стартером S10. Отношение УФ-В / УФ-А лампы PL-L равно 1.2 % (УФ-В диапазон: 280-315 нм) или 2.1 % (УФ-В диапазон: 280-320 нм).

Области применения CLEO Compact:

- облучатели для загара / пигментации кожи;
- ловушки для насекомых;
- фотохимические процессы.

Лампы CLEO Effect являются первыми представителями нового поколения ламп для загара. В отличие от других ламп CLEO, лампы CLEO Effect выполнены в трубках T8 (диаметр 26 мм). Лампы дают длинноволновое УФ излучение в диапазоне 300 - 400 нм. Соотношение излучений в диапазонах УФ-В / УФ-А составляет 1.0 % (УФ-В диапазон: 280-

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

315 нм) или 2.0 % (УФ-В диапазон: 280 - 320 нм). Достоинством этих ламп является равенство мощностей эритемных излучений в диапазонах до 320 нм и свыше 320 нм. Эти лампы создают максимальный уровень облученности в диапазонах, 335-2-27.

Ртутные люминесцентные лампы низкого давления CLEO Performance, дающие длинноволновое УФ излучение в диапазоне 310 - 400 нм, предназначены для загара и других применений. Отношение излучений в диапазонах УФ-В / УФ-А составляет 0.7 % (УФ-В диапазон: 280-315 нм) либо 1.4 % (УФ-В диапазон: 280-320 нм). Все лампы CLEO Performance имеют цоколи золотистого цвета. Рефлекторные (-R) лампы имеют внутренний отражатель с поперечным углом охвата 200°.

Области применения ламп CLEO Performance:

- косметический загар.
- фотохимические процессы.

Лампы ЛУФТ (люминесцентные ультрафиолетовые трубчатые) излучают в диапазоне длин волн 350-400 нм (длинноволновое излучение УФ-А). На внутреннюю поверхность прозрачной колбы и колбы из «черного» стекла нанесен люминофор, обеспечивающий генерацию ультрафиолетового излучения в диапазоне 350-400 нм. Лампы применяются в установках, использующих фотохимическое и биологическое действие УФ излучения, для отверждения пластмасс, в полиграфии, в ловушках для ловли насекомых. Лампы в «черном» стекле применяются для исследования материалов с помощью люминесценции: в криминалистике, для выявления подлинности банкнот, для создания световых эффектов. Лампы также применяются в полиграфии, для шелкографической печати, в автосервисе для ремонта фар и автостекл, медицинских облучательных установках; в облучательных установках, использующих фотохимическое и биологическое действие УФ – излучения; и с целью компенсации УФ-недостаточности в животноводческих закрытых помещениях во время зимнего содержания животных; терапевти-

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

ческих облучателях косметологических аппаратах; соляриях и т.д.

Характеристики ламп ЛУФТ, выпускаемых НИИС им. А. Н. Лодыгина представлены в таблице 1.10 [16].

Таблица 1.10 - Характеристики ламп ЛУФТ, выпускаемых НИИС им. А. Н. Лодыгина

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Сила тока, А	Продолжительность горения, ч	Поток излучения ($\lambda = 320 - 400$ нм), Вт
ЛУФТ 4	4	29	0,170	1500	0,40
ЛУФТ6	6	42	0,160	1500	0,60
ЛУФТ 8	8	56	0,145	1500	0,80
ЛУФТ 10 /ЛУФТ 10 П	10	45	0,230	2000	0,70/0,60
ЛУФТ 15/ЛУФТ 15 П	15	55	0,310	2000	1,50/1,30
ЛУФТ 18 / ЛУФТ 18 П	18	57	0,370	2000	1,80/1,50
ЛУФТ 30/ЛУФТ 30 П	30	96	0,370	4000	3,00/2,60
ЛУФТ36/ЛУФТ 36 п	36	103	0,430	2000	3,60/3,10
ЛУФТ 40/ЛУФТ 40 П	40	52	0,840	4000	5,60/4,80
ЛУФТ 80/ЛУФТ 80 П	80	102	0,850	4000	10,5/8,90
ЛУФЧ 4	4	29	0,170	2000	0,45
ЛУФЧ6	6	42	0,160	2000	0,70
ЛУФЧ 8	8	56	0,170	2000	1,20

В условном обозначении буквы и числа обозначают: Л – люминесцентная; УФ – ультрафиолетовая; Т – трубчатая; П- пленочная; Ч - в колбе из «черного» стекла; число - номинальная мощность в ваттах; число после дефиса - номинальная мощность в ваттах; 1-2 – отличительная способность.

Спектр излучения ламп ЛУФТ представлен на рисунке 1.7.

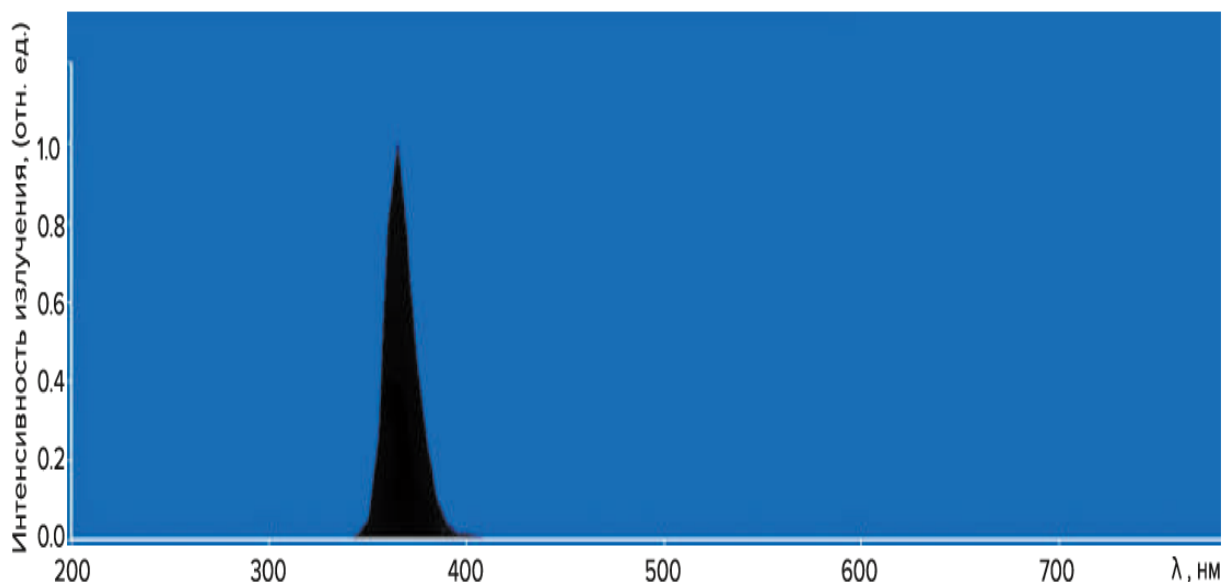


Рисунок 1.7 – Спектр излучения ламп ЛУФТ

В лампах ЛУФТ применяется люминофор ФЛ-370. Люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение ртутного разряда диапазона 253,7 нм в более длинноволновый диапазон УФ-А. Люминофор эффективен в рабочем режиме УФ-люминесцентных ламп различной мощности от 8 до 80 Вт. Порошковый материал изготавливается на основе фторбората стронция. Максимум интенсивности в спектре излучения данного люминофора приходится на 370 нм, полуширина спектра излучения составляет 20 нм, средний размер частиц 6 - 8 мкм. Достоинством люминофора ФЛ-370 является многоаспектность применения люминесцентных ламп с этими люминофором, обусловленная как требуемым (по спектру) УФ-излучением последних, так и их достаточной эффективностью.

Люминофор ФЛ-370 применяется в качестве люминофорного покрытия УФ-люминесцентных ламп, использующихся в специальных целях, например:

- в медицине для фототерапии кожных заболеваний (в частности, псориаза);

- в косметике для получения искусственного загара;
- для проведения фотополимеризации, сушки, отверждения и других технологических процессов (в частности, в лакокрасочной промышленности, в технике зубного протезирования, при дефектоскопии металлов);
- для повышения продуктивности животных и дезинсекции;
- для проверки ценных бумаг;
- для создания декоративно-рекламных эффектов в освещении.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

2 Светодиодные источники оптического излучения

Светодиод – это полупроводниковый источник оптического излучения, который излучает свет при прохождении через него тока. Электроны в полупроводнике рекомбинируют с электронными дырками, выделяя энергию в виде фотонов. Этот эффект называется электролюминесценцией. Спектр излучения определяется энергией фотонов, необходимой электронам для пересечения запрещенной зоны полупроводника.

Путем выбора различных полупроводниковых материалов могут быть изготовлены светодиоды с требуемым спектром излучения, которые излучают свет в узкой полосе длин волн в диапазоне от ближнего инфракрасного до ультрафиолетового. По мере того, как длины волн становятся короче, из-за большей ширины запрещенной зоны этих полупроводников рабочее напряжение светодиода увеличивается [15].

Светодиоды имеют много преимуществ по сравнению с разрядными источниками УФ - излучения, включая более длительный срок службы, улучшенную физическую прочность, меньшие размеры и экологичность.

2.1 Принцип работы ультрафиолетовых светодиодов

Принцип работы светодиодов основан на том, что при пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, электроны и дырки начинают рекомбинировать в области пространственного заряда с излучением фотонов (рисунок 2.1). При этом полупроводник n - типа обогащён отрицательными носителями заряда, а полупроводник р - типа положительными носителями заряда. Рекомбинирующие электроны переходят с более высоких энергетических уровней зоны проводимости, близких к ее нижней границе, на более низкие уровни, расположенные вблизи верхней границы валентной зоны (рисунок 2.2).

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

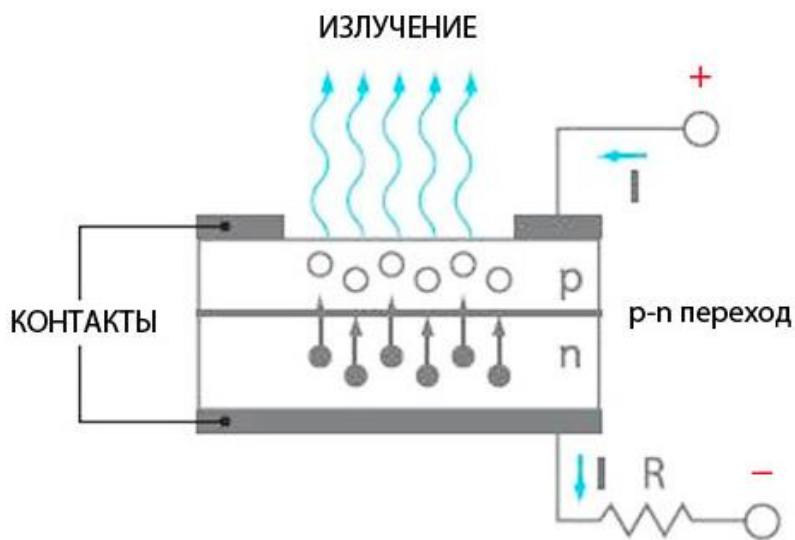


Рисунок 2.1 – Принцип работы светодиода

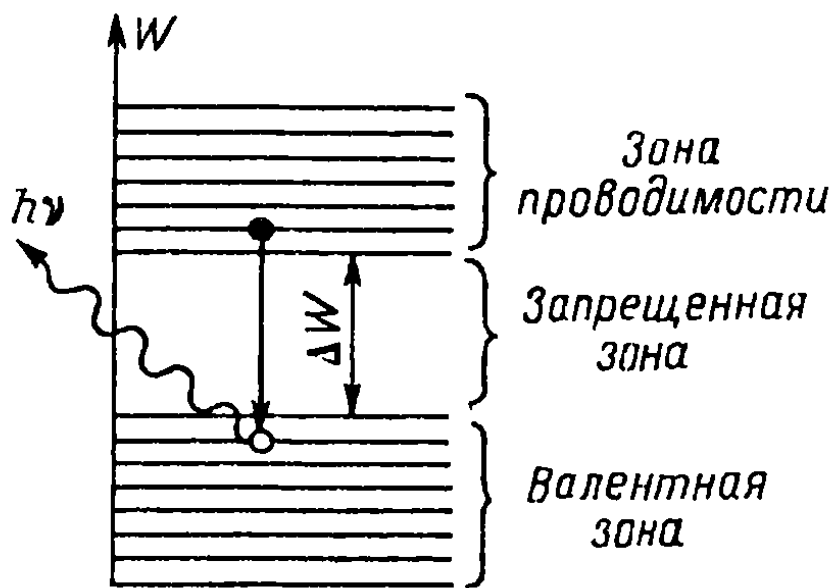


Рисунок 2.2 – Излучение при рекомбинации

При этом выделяется фотон, энергия которого почти равна ширине запрещенной зоны ΔW , т. е. по формуле Планка:

$$\Delta W = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda, \quad (2.1)$$

где h – постоянная планка, Дж * с;

ν - частота излучения, Гц;

λ - длина волны излучения;

c - скорость света, м/с.

Германий и кремний непригодны для светодиодов, так как у них ширина запрещенной зоны слишком мала. Для ультрафиолетовых светодиодов применяются такие полупроводниковые материалы, как [22]:

- нитрид бора (235 нм);
- нитрид алюминия (215 нм);
- нитрид алюминия – галлия (340 нм);
- нитрид галлия (365 нм).

К основным параметрам светодиодов относят [3]:

- энергетический поток излучения, Вт;
- прямое падение напряжения, В;
- прямой ток, мА;
- диапазон температур окружающей среды, град;
- вольт - амперная характеристика;
- спектр излучения;
- диаграмма направленности излучения.

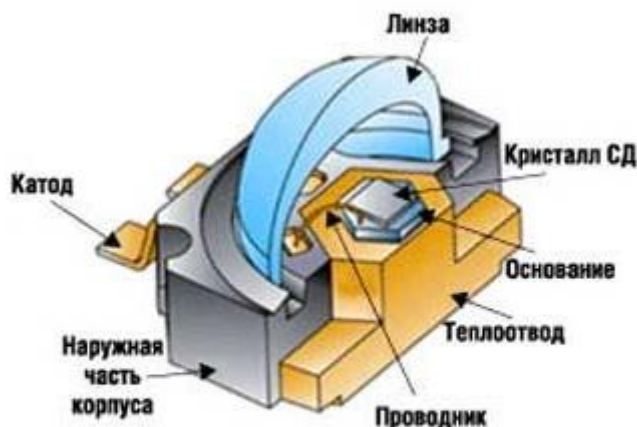
2.2 Устройство и конструкции светодиодов

Основными конструктивными элементами светодиода являются (рисунок 2.3) [23]:

- корпус;
- анод;
- катод;
- линза;
- чип или кристалл полупроводника;

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

– подложка.



Конструкция мощного (от 1W)
светодиода

Рисунок 2.3 – Устройство светодиода

Светодиодный кристалл крепится на основание, которое служит теплоотводом. Катод и анод являются электродами и служат для подведения электрического тока к полупроводниковому кристаллу. На катод подается отрицательное напряжение, на анод – положительное. Линза либо рассеиватель обеспечивают необходимую диаграмму направленности излучения светодиода. Все элементы конструкции располагаются в корпусе.

Существует несколько типов светодиодов:

– DIP - светодиоды (рисунок 2.4) (англ. Dual In-line Package), кристалл установлен в корпус с линзой, имеют два контакта;

– SMD - светодиоды (рисунок 2.5) (англ. Surface Mounted Device) изготавливаются по технологии поверхностного монтажа. Чип монтируется на поверхность платы через керамическую подложку, что обеспечивает малые габариты и хороший теплоотвод. SMD – светодиоды являются самыми распространенными;

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

– COB - светодиоды (рисунок 2.6) (англ. Chip-On-Board) – чип кристалла или нескольких кристаллов монтируются на плату без керамической подложки.



Рисунок 2.4 - DIP – светодиод

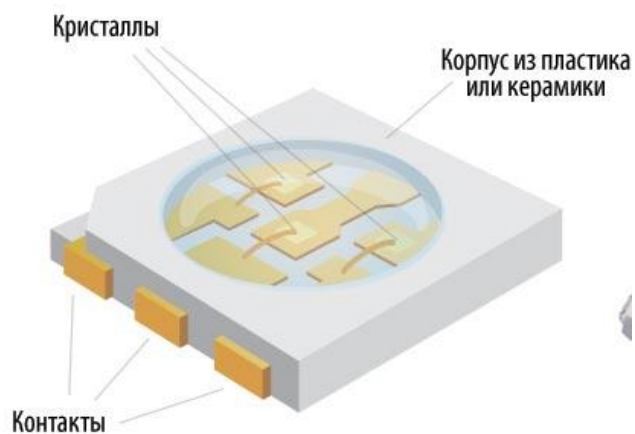


Рисунок 2.5 - SMD – светодиод



Рисунок 2.6 - COB– светодиод

2.3 Светодиодные источники ультрафиолетового излучения

Принцип действия УФ-светодиодов принципиально не отличается от обычных светоизлучающих светодиодов, однако для их создания используют определенные добавки, например, арсенид галлия, а также нитрид галлия, алюминия, индия [4]. При этом готовые светодиоды имеют спектр излучения от 100 до 400 нм (так называемая «ближняя область УФ-диапазона»), где длина волны зависит от материала полупроводника. УФ светодиодная лампа представлена на рисунке 2.6.

В таблице 2.1 представлены параметры ультрафиолетовых светодиодов южнокорейской компании LG Innotek [9].



Рисунок 2.7 - Ультрафиолетовая светодиодная лампа

Таблица 2.1 – Параметры ультрафиолетовых светодиодов LG Innotek

Наименование	Пиковая длина волны излучения, нм	Выходная оптическая мощность, мВт	Угол рассеяния, градусы	Прямое напряжение, В	Прямой ток, мА
LEUVA66B00HF00	278	3	126	6.5	20
LEUVA66G00HF00	278	10	126	7.0	100
LEUVA66G00HV00	278	30	120	8.0	350
LEUVA66H70HF00	278	70	120	8.5	350
LEUVA37B50HF00	278	2	120	7.5	20
LEUVK37B50HF00	278	2	125	7	25

Номенклатура ультрафиолетовых ламп производства Spectroline (США) [11] представлены в таблице 2.2.

В последнее время источники излучения и световые приборы на основе УФ светодиодов становятся все более востребованными, так как они более компактны, меньше потребляют энергии, экологичны [21]. Области, где используются ультрафиолетовые бактерицидные лампы разнообразны: сельское хозяйство, медицина, промышленность, криминалистика, оборуду-

вание, индустрия красоты.

Т а б л и ц а 2.2 - Ультрафиолетовые лампы Spectroline

Модель	Длина волны, нм	Комплектация	Габариты, см/ вес, кг	УФ- трубка
X-15A	365	Одна BLB трубка 15 Вт	11,4x47,6x8,9 / 2,0	BLE-1800B
X-30	365	Одна BLB трубка 30 Вт	15,2x91,4x10,2/ 4,3	BLE-5000B
X-40	365	Одна BLB трубка 40 Вт	15,2x121,9x10,2/5,4	BLE-7900B
XX-15A	365	Две BLB трубки по 15 Вт	11,4x47,6x8,9/2,5	BLE-1800B
XX-40	365	Две BLB трубки по 40 Вт	15.2x121.9x10.2/6.4	BLE-7900B

Каждое направление использует только те лампы, которые подходят под их специфические цели. Медицина активно эксплуатирует способность ультрафиолета убивать микроорганизмы и бактерии. Кабинеты и палаты больниц подвергаются дезинфекции воздуха в помещении с помощью УФ излучения. Воздействие излучения УФ излучения на воду убивает болезнетворные вирусы и бактерии без изменения вкуса жидкости. Рабочий диапазон 250-280 нм обеспечивает стерилизацию воздуха и воды, разрушая ДНК опасных микроорганизмов.

В полиграфии УФ-лампы применяются для быстрой сушки красок и лаков, для получения высококачественного глянца [24]. При обработке ультрафиолетом происходит полимеризация специальных красящих веществ, которые переходят в твердое состояние (рисунок 2.8). Это дает возможность получать изображения с отличными характеристиками четкости и яркости, с улучшенной цветовой гаммой, а полученные поверхности приобретают повышенную стойкость к появлению царапин и воздействию агрессивных веществ.

Проверка денежных купюр, акцизных марок, ценных бумаг и другой защищенной продукции – это еще одна сфера применения ультрафиолета (рисунок 2.9). Ультрафиолетовые детекторы, часто используются в каждом

купюроприемнике в терминалах, банкоматах и торговых автоматах. Такие аппараты с помощью УФ-излучения могут в автоматическом режиме проверять валюту на наличие или отсутствие определенных элементов: люминесцирующего фона, защитных волокон, нитей, меток.

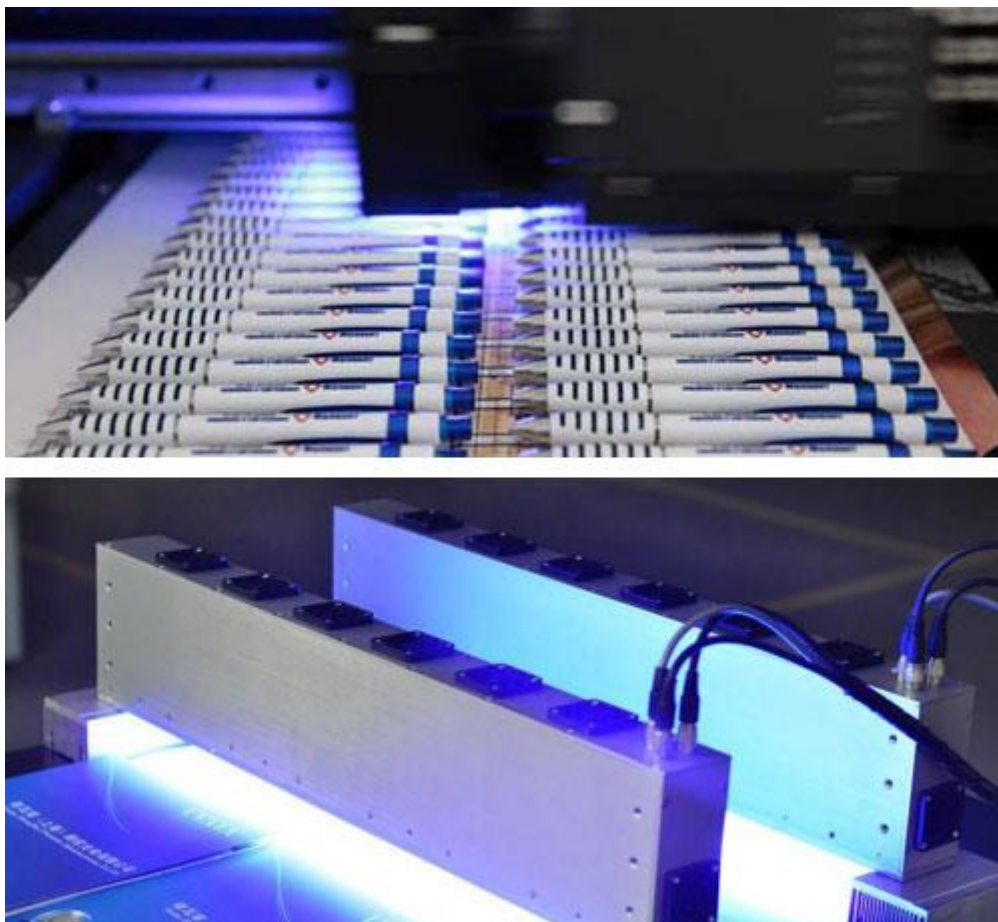


Рисунок 2.8 – Применение светодиодных ультрафиолетовых излучателей в полиграфии

В кассах магазинов, банках, обменных пунктах используются портативные ультрафиолетовые детекторы, предназначенные для визуальной проверки купюр. Также с помощью специализированного оборудования, оснащенного компактными, но мощными ультрафиолетовыми лампами, могут проверяться различные документы на защищенных бланках. Так что

для этих целей купить ультрафиолетовые лампы было бы просто необходимо.



Рисунок 2.9 – Применение светодиодных ультрафиолетовых излучателей для проверки ценных бумаг

С помощью ультрафиолетового излучения криминалисты могут обнаруживать следы различных веществ (крови, взрывчатки, отравляющих веществ и т.д.), невидимые в обычном свете, следы изменения в документах и многое другое (рисунок 2.10). Обычно эксперты для таких целей используют компактные ультрафиолетовые лампы, оснащенные специальными светофильтрами.



Рисунок 2.10 – Применение светодиодных ультрафиолетовых излучателей в криминалистике

Ультрафиолетовые лампы также могут применяться для облучения домашних питомцев из теплых стран, где солнце ярко светит круглый год. В условиях умеренного пояса у таких животных бывает стресс и провоцируется возникновение ряда заболеваний. Дополнительное искусственное УФ-излучение полностью помогает решить такую проблему. Сегодня, например, популярны следующие виды данных приборов (рисунок 2.11):

- ультрафиолетовая лампа для черепахи;
- ультрафиолетовая лампа для рептилий;
- ультрафиолетовая лампа для аквариума.



Рисунок 2.11 – Применение светодиодных ультрафиолетовых излучателей для облучения домашних питомцев

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

3 Создание макетного образца СД источника УФ излучения

3.1 Выбор компонентов для создания макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения

Основными компонентами светодиодного источника ультрафиолетового излучения являются:

- колба;
- светодиодные чипы;
- печатная плата;
- радиатор;
- драйвер;
- цоколи.

Колба лампы — это стеклянная емкость, в которой размещен источник света.

Светодиодные чипы. Припаиваются на поверхность печатной платы, образуя светодиодный модуль. Число светодиодов зависит от конструктивных особенностей лампы, ее размеров, мощности и наличия радиаторов для отвода тепла. Качество чипов определяет все рабочие параметры источника света и продолжительность его эксплуатации.

Печатная плата. Печатная плата соединяет все светодиоды между собой и с источником питания. При их изготовлении используются анодированные алюминиевые сплавы, способные эффективно отвести тепло на радиатор, что создаст оптимальную температуру для бесперебойной работы чипов.

Радиатор. Радиатор позволяет отводить тепло от печатной платы с утопленными в ней светодиодами. Для отливки радиаторов тоже выбирается алюминий и его сплавы, а также специальные формы с большим количеством отдельных пластин, помогающих увеличить теплоотводящую площадь.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Драйвер. Основной функцией драйвера для светодиодов является обеспечение стабилизированного тока, проходящего через светодиодную лампу. Значение тока, протекающего через кристалл полупроводника, должно соответствовать паспортным параметрам светодиода. Это обеспечит устойчивость свечения кристалла и поможет избежать его преждевременной деградации.

Цоколь. Цоколь обеспечивает надежный контакт лампы с патроном и ее подключения с питающей сети.

3.1.1 Выбор колбы

Спектральные характеристики электроламповых стёкол зависят от химической природы компонентов, входящих в их состав. Так, силикатные неокрашенные стёкла имеют высокое пропускание в видимой части спектра и широкие полосы фундаментального поглощения в ультрафиолетовой и инфракрасной областях. Кварцевое и фторберилатные стекла имеют высокое пропускание в ультрафиолетовой и видимой части спектра. Халькогенидные стекла интенсивно поглощают ультрафиолетовое и видимое излучение и имеют высокий коэффициент пропускания в инфракрасной области.

Развитие промышленной и препаративной фотохимии, применение УФ - радиации в быту, медицине, сельском хозяйстве потребовали создания большой гаммы источников УФ-излучения, обладающих избирательным действием в области УФ - диапазона (200 ÷ 400 нм). Эффективность действия УФ - источников на организм и вещество зависит в основном от величины УФ - пропускания стёкол, из которых он изготовлен. Наиболее высоким УФ - пропусканием обладает прозрачное кварцевое стекло, применяемое для изготовления горелок ламп типа ДРЛ и МГЛ, оболочек ламп ДРШ; ДКсШ; ДРТ; ДРТИ. Полоса пропускания его начинается с длин волн 120 ÷ 180 нм (рисунок 3.1, кривые 5, 6).

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44



Рисунок 3.1 – Спектры пропускания некоторых электроламповых стёкол в УФ-, видимой и ИК-диапазонах спектра (толщина образцов 1 мм)

Обычные силикатные электроламповые стёкла по величине коэффициента пропускания в УФ-области не могут сравниться с кварцевым. Однако известны многие оксиды, с вводом которых в составы можно получить так называемые увиолевые стёкла, достаточно хорошо пропускающие УФ-излучение, применяемые при изготовлении оболочек как для бактерицидных и эритемных ламп, так и для ламп, используемых в интроскопии (рис 3.1 кривые 1, 2, 3, 4). К их числу относятся оксиды щелочных металлов Li_2O ; Na_2O ; K_2O , щелочно-земельных металлов BaO ; SrO ; ZnO ; SnO , а также B_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 , мало влияющие на положение начала границы полосы пропускания в УФ-области спектра. Вводя в составы мягких и твёрдых стёкол оксиды кобальта и никеля, можно получить чёрные увиолевые стёкла, хорошо пропускающие УФ-лучи в области $300 \div 400 \text{ нм}$ и поглощающие излучение в видимой части спектра (рисунок 3.1 кривая 4).

Коэффициент пропускания бактерицидных стёкол на длине волны $\lambda = 253,7 \text{ нм}$ находится в пределах $70,0 \div 76,0 \%$, эритемных на длине волны $\lambda = 296 \text{ нм}$ достигает $80 \div 85 \%$ и чёрных увиолевых стёкол на длине волны $\lambda = 365 \text{ нм}$ доходит до $85,0 \%$ при толщине образцов 1 мм. Увиолевые электро-

ламповые стёкла, как бесцветные, прозрачные для коротковолновых УФ-лучей, так и чёрные, можно получать классическими способами стекловарения, соблюдая при этом ряд требований. Бактерицидные стёкла, обладающие достаточно высокой УФ-прозрачностью (до 210 нм), не должны содержать щелочных оксидов более 17,0 масс. % и примесей оксидов тяжёлых металлов переменной валентности: Ti; V; Cr; Pb; Sb; Fe, а так же в значительных количествах галогены J' и Cl'. Так, присутствие в стекле до 1,0 масс. % PbO вызывает смещение полосы пропускания с 210 до 260 нм при толщине образца 1 мм. Особенно сильно на начало полосы пропускания УФ-лучей влияет содержание в стёклах оксидов железа и титана. Уже присутствие 0,10 масс. % Fe₂O₃ смещает эту границу с 210 до 260 нм при толщине образца 0,65 мм, и до 300 нм при толщине 1 мм. Стекло для трубок бактерицидных ламп должно содержать не более 0,006 масс. % Fe₂O₃ и 0,003 масс. % TiO₂, а для эритемных – соответственно 0,008 и 0,005 масс. % [18].

Из многокомпонентных стёкол наибольшим УФ-пропусканием в области 200 ÷ 260 нм обладают боросиликатные и особенно фосфатные стёкла. Однако они не нашли широкого применения: первые из-за технологических трудностей при варке и формовании, связанных с испарением B₂O₃ и метаборатов; вторые – из-за кристаллизации в процессе формования, в частности трубок, и малой химической устойчивости стекла в процессе эксплуатации источников света.

Помимо примесей на величину УФ-пропускания увиолевых стёкол значительное влияние оказывает толщина стенки оболочки бактерицидных и эритемных ламп. Чем она меньше, тем выше УФ-пропускание стекла, а начало полосы сдвинуто в коротковолновую область спектра. Поэтому для производства бактерицидных и эритемных ламп используют мягкие стекла преимущественно натрий-магний-кальций-силикатных составов платиновой группы, как наиболее технологичные при варке и формовании, а изделия, в частности трубки, изготавливают с толщиной стенки 0,5 ÷ 0,65

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

мм.

Силикатное увиолевое бактерицидное стекло платинитовой группы (СЛ 97-2) используется для изготовления оболочек бактерицидных ламп, светофильтров и других электронно-оптических приборов, работающих в УФ области спектра.

Варку стекла ведут в пламенной печи при окислительной атмосфере. Для ввода SiO_2 в состав шихты применяют гранулированный жильный кварц, предварительно прошедший обогащение. Содержание примесей железа в обогащенном кварце составляет не более 0,0008 мас. % Fe_2O_3 , примеси титана отсутствуют. Оксиды MgO , CaO , BaO , Na_2O , K_2O вводят через углекислые соли реактивной чистоты марок ХЧ и ЧДА, а оксид Fe_2O_3 - в виде окиси железа марки ХЧ. Обработка сырьевых материалов, хранение и загрузка шихты в печь осуществляются на оборудовании, исключающем попадание железа в стекломассу. Плавление шихты, осветление ведут при температуре расплава $1480+10^\circ\text{C}$. Формование из стекломассы труб для ламп осуществляется методом горизонтального вытягивания по способу Е. Даннера в интервале $920 - 1120^\circ\text{C}$.

Увиолевое бактерицидное стекло характеризуется достаточно высокими параметрами УФ-пропускания на волне 253,7 нм. Коэффициент пропускания стекла толщиной 1 мм при длине волны 253,7 нм составляет 66-70 %.

Силикатное увиолевое эритемное стекло платинитовой группы (СЛ 97-3) используется для изготовления оболочек эритемных ламп, светофильтров, пропускающих УФ лучи в средней коротковолновой области спектра.

УФ пропускание у эритемных увиолевых стекол на длине волны 253,7 нм практически отсутствует, а на длине волны 296 нм составляет 80-86 %.

Увиолевое эритемное стекло варят в пламенной печи при температуре 1450°C . Для ввода SiO_2 в состав шихты применяют гранулированный жильный кварц, предварительно прошедший специальную технологическую

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

подготовку. Для ввода MgO, CaO, BaO, Na₂O, K₂O применяют углекислые соли марки ХЧ, ЧДА и Ч. ZnO вводят через оксид цинка марки ЧДА и Ч, диоксид титана – через TiO₂ марки ЧДА и Ч, PbO – через свинцовый сурик технический, ион фтора – через Na₂SiF₆ марки ХЧ. Обработку материалов, приготовление шихты и загрузку ее в печь осуществляют на оборудовании, исключающем попадание металлического железа в стекломассу. Формование из стекломассы труб осуществляют методом горизонтального вытягивания по способу Е. Даннера в интервале температур 940 -1 120°С.

Химический состав увиолевого бактерицидного и эритемного стекла приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Химический состав увиолевых стекол

№ п/п	Химический состав стекла	Формула	Количество, %	
			СЛ97-2	СЛ97-3
1	Диоксид кремния	<i>SiO₂</i>	69,6-71,0	65,5-70,0
2	Оксид магния	<i>MgO</i>	2,196-2,695	1,0-3,5
3	Оксид кальция	<i>CaO</i>	3,56-3,75	5,0-6,0
4	Оксид бария	<i>BaO</i>	6,4-8,1	5,0-7,0
5	Оксид натрия	<i>Na₂O</i>	12,8-13,0	10,0-14,0
6	Оксид калия	<i>K₂O</i>	3,3-3,5	3,0-6,0
7	Оксид железа	<i>Fe₂O₃</i>	0,004-0,005	-
8	Алюминий	<i>Al</i>	0,04-0,05	-
9	Оксид свинца	<i>PbO</i>	-	0,5-1,0
10	Оксид цинка	<i>ZnO</i>	-	0,3-1,2
11	Диоксид титана	<i>TiO₂</i>	-	0,1-0,3
12	Фтор	<i>F</i>	-	0,2-0,4

Исходя из возможностей производства было выбрано стекло, максимума интенсивности излучения светодиодов, приходящегося на 365 нм, было выбрано стекло СЛ40-1. Изготовлена трубка диаметром 27 мм, длиной 210 мм, толщиной стенки 1 мм. Коэффициент пропускания излучения стекла СЛ 40-1 при толщине стенки 1 мм на длине волны 365 нм – 0,9 [18].

3.1.2 Подбор светодиодов

Для ультрафиолетовой лампы были выбраны светодиоды SMD UV 2835 тайваньской компании Epistar TW [20]. Характеристики данных светодиодов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Характеристики светодиодов SMD UV 2835

Параметр	Значение
Напряжение, В	3,0 – 3,4
Прямой ток, мА	55
Угол рассеивания, град	125
Энергетический поток, мВт	47
Длина волны излучения, нм	365
Диапазон рабочих температур, град	- 10 ~ +60
Геометрические размеры (Д x Ш x В), мм	3,5 x 2,8 x 0,8

Геометрические размеры светодиода представлены на рисунке 3.2.

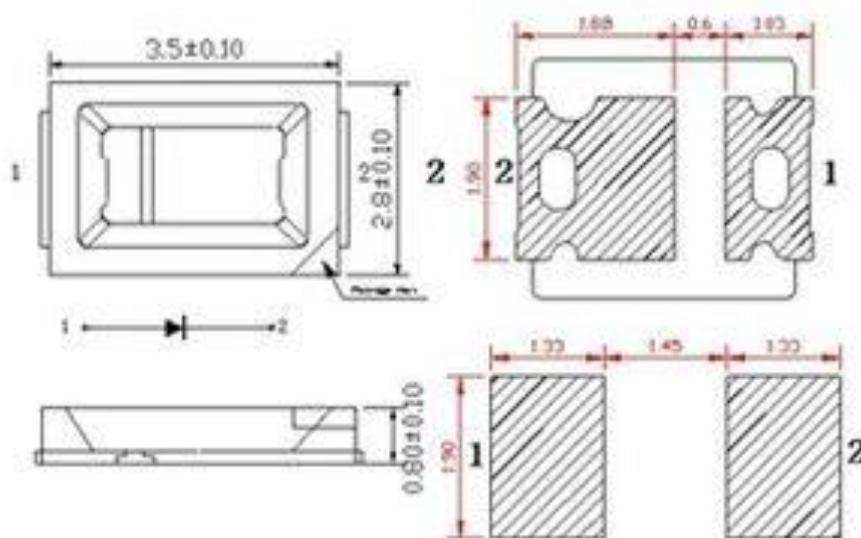


Рисунок 3.2 – Геометрические размеры светодиода SMD UV 2835

Вольт - амперная характеристика (ВАХ) светодиода представлена на рисунке 3.3.

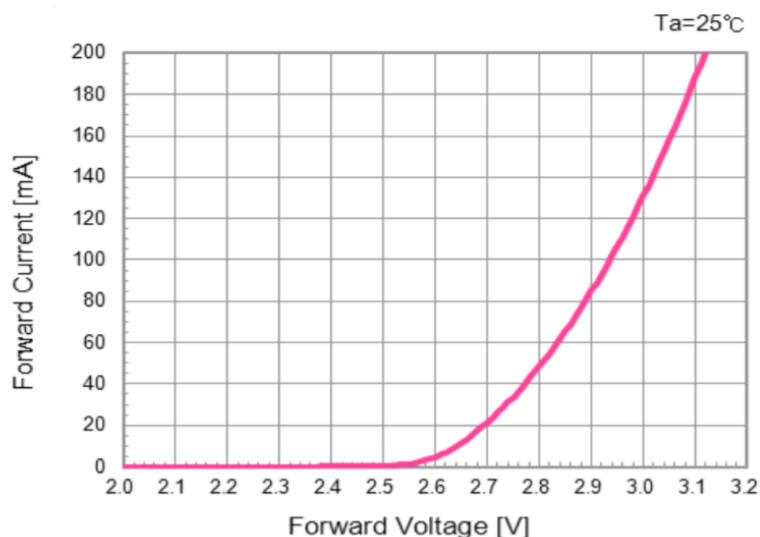


Рисунок 3.3 - Вольт – амперная характеристика светодиода SMD UV 2835

Зависимость энергетического потока от прямого тока светодиода представлена на рисунке 3.4.

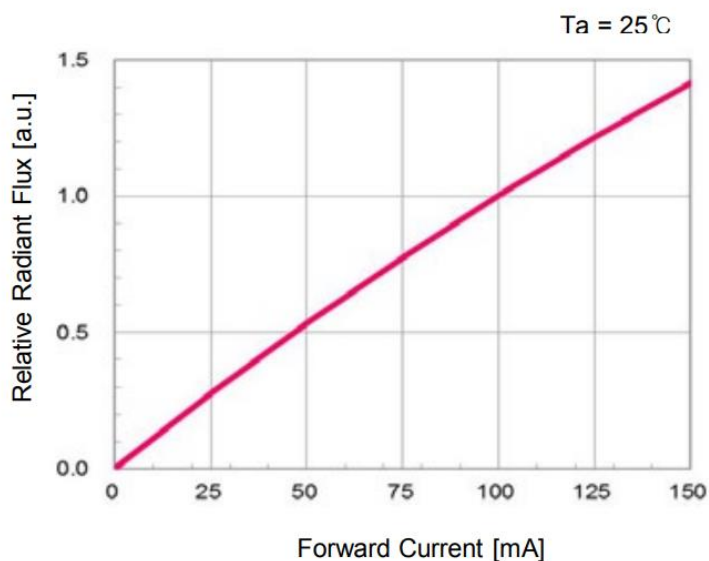


Рисунок 3.4 - Зависимость энергетического потока от прямого тока светодиода SMD UV 2835

Спектр излучения светодиода представлен на рисунке 3.5

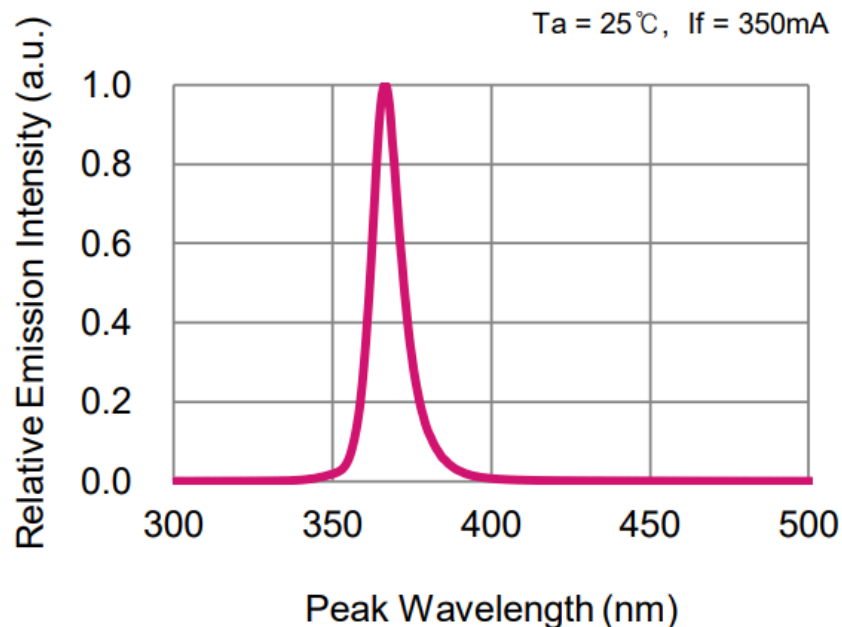


Рисунок 3.5 - Спектр излучения светодиода SMD UV 2835

Светораспределение светодиода представлена на рисунке 3.6.

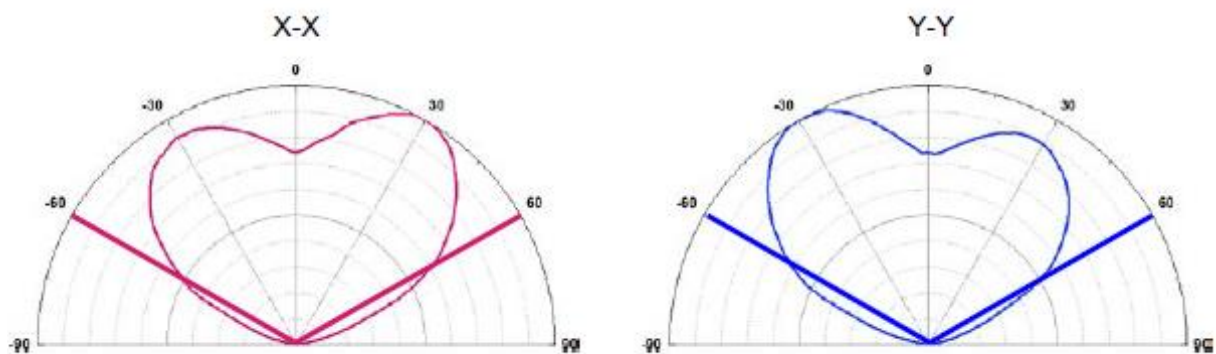


Рисунок 3.6 - Светораспределение светодиода SMD UV 2835

3.1.3 Выбор источника питания

Светодиод – это полупроводниковый элемент, имеющий нелинейную ВАХ (рисунок 3.3). Из-за существенной нелинейности ВАХ, нельзя применять обыкновенные стабилизаторы напряжения, которые не способны

задавать постоянный ток через нагрузку. Для таких целей необходимо использовать специализированный драйвер – устройство, стабилизирующее ток, протекающий через цепь светодиодов [17].

Драйвер, построенный на основе микросхемы HV9910 (рисунок 3.7) американской компании Supertex inc., является эффективным по стоимости вариантом источником тока для светодиодов с током потребления от 1 мА до 1 А. Конструктивный вид данной микросхемы представлен на рисунке 3.6 [6].

На рисунке 3.8 приведена типовая схема применения микросхемы HV9910.

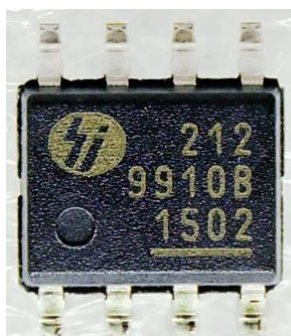


Рисунок 3.7 – Внешний вид микросхемы HV9910

Параметры для расчета светодиодного драйвера:

- минимальное входное напряжение $U_{\text{MIN,AC}} = 205 \text{ В}$;
- номинальное входное напряжение $U_{\text{NOM,AC}} = 230 \text{ В}$;
- номинальное входное напряжение $U_{\text{NOM,AC}} = 230 \text{ В}$;
- максимальное входное напряжение $U_{\text{MAX,AC}} = 255 \text{ В}$;
- частота питающей сети $f_{\text{req}} = 50 \text{ Гц}$;
- минимальное напряжение на светодиодах $U_{\text{O,MIN}} = 11,4 \text{ В}$;
- максимально напряжение на светодиодах $U_{\text{O,MAX}} = 12 \text{ В}$;
- ток, потребляемый светодиодами $I_{\text{O,MAX}} = 720 \text{ мА}$;
- амплитуда пульсаций тока $\text{RIP}_I = 15 \%$;

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-11.03.04-10-19

$$U_{BRIGE} = \sqrt{2} * 255 = 361$$

$$I_{BRIGE} = \frac{U_{O.MAX} * I_{O.MAX}}{U_{MIN.DC} * \eta} \quad (3.3)$$

$$I_{BRIGE} = \frac{12 * 720}{11,4 * 0,9} = 842 \text{ мА}$$

Для рассматриваемой схемы возьмем диодный мост с обратным напряжением 400 В и допустимым током в 1 А. Сопротивление токоограничительного термистора NTC1 при температуре окружающей среды 25 °С будет равно

$$R_{COLD} = \frac{U_{BRIGE}}{5 * I_{BRIGE}} \quad (3.4)$$

$$R_{COLD} = \frac{361}{5 * 0,842} = 86 \text{ Ом.}$$

Важным критерием для выбора конденсатора является то, что максимальное напряжение на всей группе светодиодов должно быть меньше половины минимального входного напряжения. Исходя из этого минимальное выпрямленное напряжение должно составлять не менее

$$U_{MIN.DC} = 2 * U_{O.MAX} \quad (3.5)$$

$$U_{MIN.DC} = 2 * 12 = 24 \text{ В}$$

Тогда минимальная емкость входного электролитического конденсатора C_1 составит

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$C_1 \geq \frac{U_{O.MAX} * I_{O.MAX}}{(2 * U_{MIN.AC}^2 - U_{MIN.DC}^2) * \eta * freq} \quad (3.6)$$

$$C_1 \geq \frac{12 * 0,72}{(2 * 42025 - 576) * 0,9 * 71} \geq 1 \text{ мкФ}$$

Рабочее напряжение рассчитанного конденсатора определяется как

$$U_{MAX.CAP} = \sqrt{2} * V_{MAX.AC} \quad (3.7)$$

$$U_{MAX.CAP} = \sqrt{2} * 255 = 361$$

Для повышения эквивалентного сопротивления конденсатора C_1 , параллельно устанавливается фильтрующая емкость C_2

$$C_2 \geq \frac{25 * I_{O.MAX}}{(f_s * 0,05 U_{MIN.DC})} \quad (3.8)$$

$$C_2 \geq \frac{25 * 0,72}{(71000 * 0,05 * 11,4)} \geq 220 \text{ мкФ}$$

В рассматриваемой схеме конденсаторы C_1 и C_2 выберем с рабочим напряжением 400 В.

Значение индуктивности дросселя L_1 зависит от уровня пульсаций тока, потребляемого светодиодами. Тогда значение индуктивности можно вычислить по формуле 9.

$$L_1 = \frac{U_{O.MAX} * (1 - \frac{U_{O.MAX}}{\sqrt{2} * U_{AC.NOM}})}{RIP_1 * I_{O.MAX} * f_s} \quad (3.9)$$

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

$$L_1 = \frac{12 * (1 - \frac{12}{\sqrt{2} * 230})}{0,15 * 0,72 * 71000} = 6,3 \text{ мГ}$$

Максимальный ток через дроссель будет составлять

$$I_p = 1,15 * I_{O.MAX} \quad (3.10)$$

$$I_p = 1,15 * 720 = 828 \text{ мА}$$

Далее рассчитаем параметры полевого транзистора Q₁ и диода D₂.
Напряжение сток-исток полевого транзистора определим по формуле 11.

$$U_{FET} = 1,5 * (\sqrt{2} * U_{MAX.AC}) \quad (3.11)$$

$$U_{FET} = 1,5 * (\sqrt{2} * 255) = 541 \text{ В}$$

Ток стока транзистора определим по формуле 12.

$$I_{FET} = \sqrt{0.5} * I_{O.MAX} \quad (3.12)$$

$$I_{FET} = \sqrt{0.5} * 720 = 509 \text{ мА}$$

Исходя из того, что напряжение на диоде равно напряжению на транзисторе,

$$U_{DIODE} = U_{FET} = 541 \text{ В}$$

Средний ток диода определяется по формуле 13.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

$$I_{DIODE} = 0,5 * I_{O.MAX} \quad (3.13)$$

$$I_{DIODE} = 0,5 * 720 = 360 \text{ мА}$$

Для ограничения тока, потребляемого светодиодами необходимо использовать истоковый токоизмерительный резистор R_2 . Его значение определяется формулой 14.

$$R_2 = \frac{0,25}{1,15 * I_{O.MAX}} \quad (3.14)$$

$$R_2 = \frac{0,25}{1,15 * 0,720} = 300 \text{ мОм}$$

Мощность, рассеиваемая истоковым токоизмерительным резистором R_2 определяется по формуле 15.

$$P_{R2} = I_{O.MAX}^2 * R_2 \quad (3.15)$$

$$P_{R2} = 0,518 * 0,3 = 155 \text{ мВт}$$

В рассматриваемой схеме конденсатор C_3 является блокировочным и величину его емкости стоит выбирать от 1,0 до 2,2 мкФ с рабочим напряжением 100 В.

3.1.4 Подбор цоколей

Цоколь служит для подведения электрического питания к лампе от внешнего источника, установки лампы в специальные держатели по месту

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

эксплуатации и дополнительно обеспечивает точную ориентацию лампы относительно арматуры осветительного прибора в целом.

Существуют следующие типы цоколей [1]:

а) первая буква указывает на тип цоколя:

- 1) E – резьбовой цоколь (Эдисона);
- 2) G – штырьковый цоколь;
- 3) R – цоколь с утопленным контактом;
- 4) B – штифтовой цоколь (байонет);
- 5) F – цоколь с одним штырьком;
- 6) S – софитный цоколь;
- 7) K – цоколь с кабельными соединениями;
- 8) H – цоколь для ксеноновых ламп;
- 9) P – фокусирующий цоколь;
- 10) T – телефонный цоколь;
- 11) W – основание, в котором электрический контакт с патроном

осуществляется непосредственно через токовые вводы, расположенные на стеклянном основании лампы.

б) число в обозначении цоколя указывает диаметр соединительной части или расстояние между штырьками;

в) строчные буквы на конце показывают количество контактных пластин, штырьков или гибких соединений (только для некоторых типов):

- 1) s – один контакт;
- 2) d – два контакта;
- 3) t – три контакта;
- 4) q – четыре контакта;
- 5) p – пять контактов.

г) иногда к первой букве добавляется еще одна буква, уточняющая (для некоторых типов):

- 1) U – энергосберегающая лампочка;

2) V – цоколь с коническим концом;

3) A – автомобильная лампа.

Для конструируемой лампы были использованы два штырьковых цоколя G13 с расстоянием между штырьками 13 мм. Материал цоколя – пластик. Цоколь G13 представлен на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 - Цоколь G13

3.2 Сборка макетного образца

Крепление светодиодной ленты к поверхности колбы было осуществлено с помощью клея марки «Glue HMG-628H».

На рисунках 3.10, 3.11 представлены ультрафиолетовая светодиодная лента и колба, выполненная из стекла СЛ 40 – 1 с толщиной стенки 1 мм, коэффициент пропускания излучения на длине волны 365 нм – 0,9 [18].

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

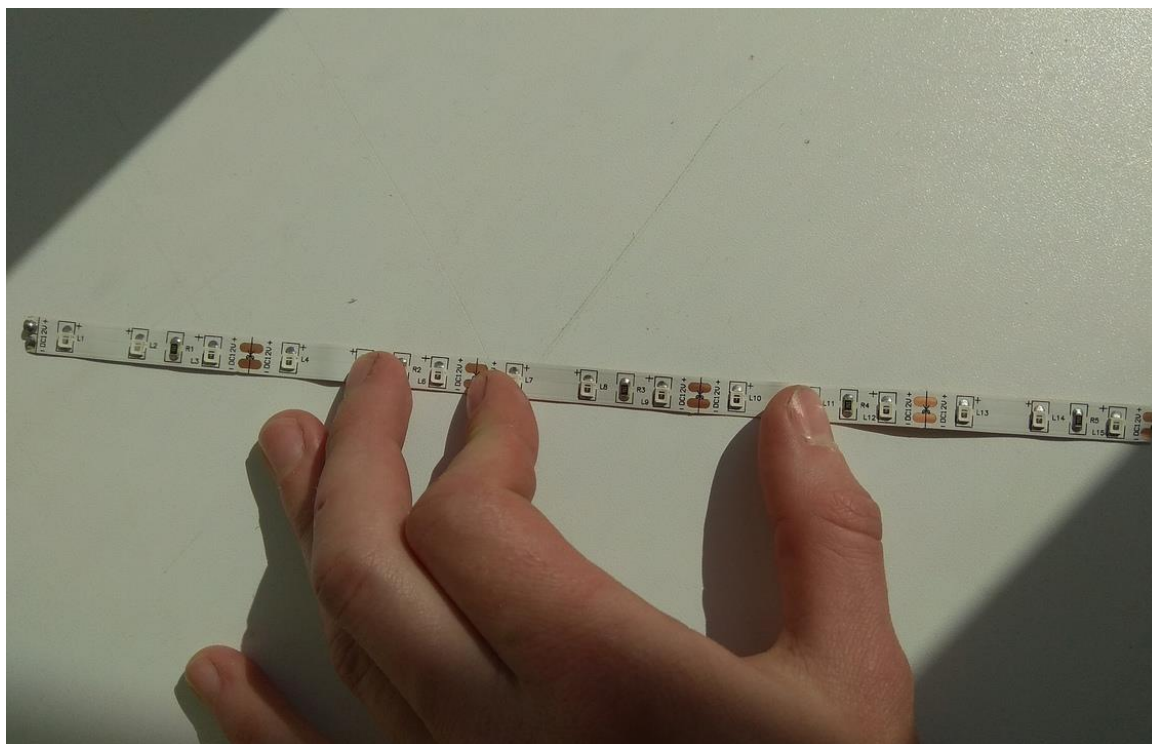


Рисунок 3.10 - Ультрафиолетовая светодиодная лента



Рисунок 3.11 - Колба

Сконструированный драйвер представлен на рисунке 3.12.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

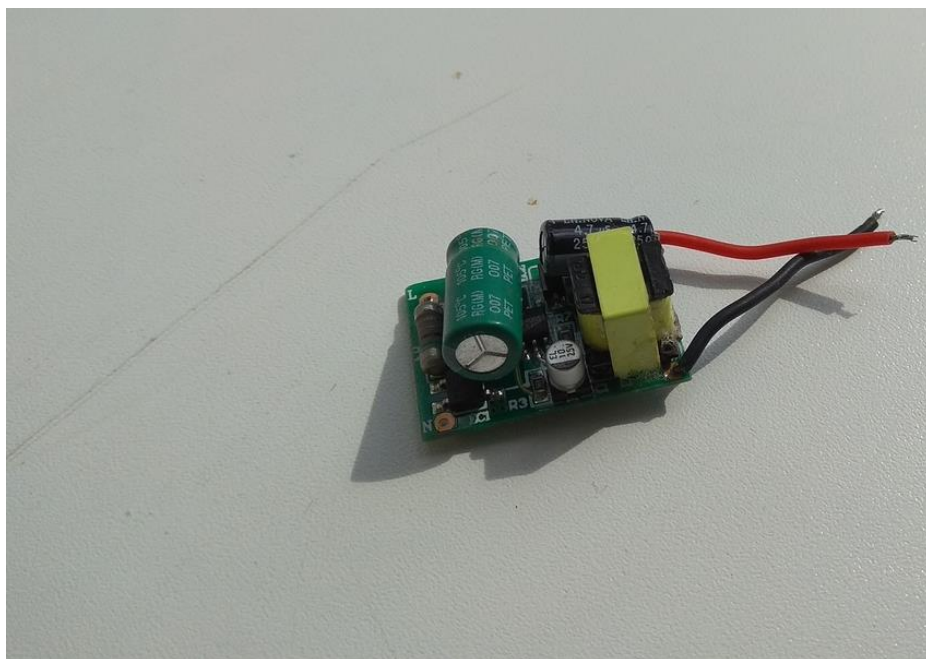


Рисунок 3.12 - Светодиодный драйвер

Припайка драйвера к светодиодной ленте показана на рисунке 3.13.

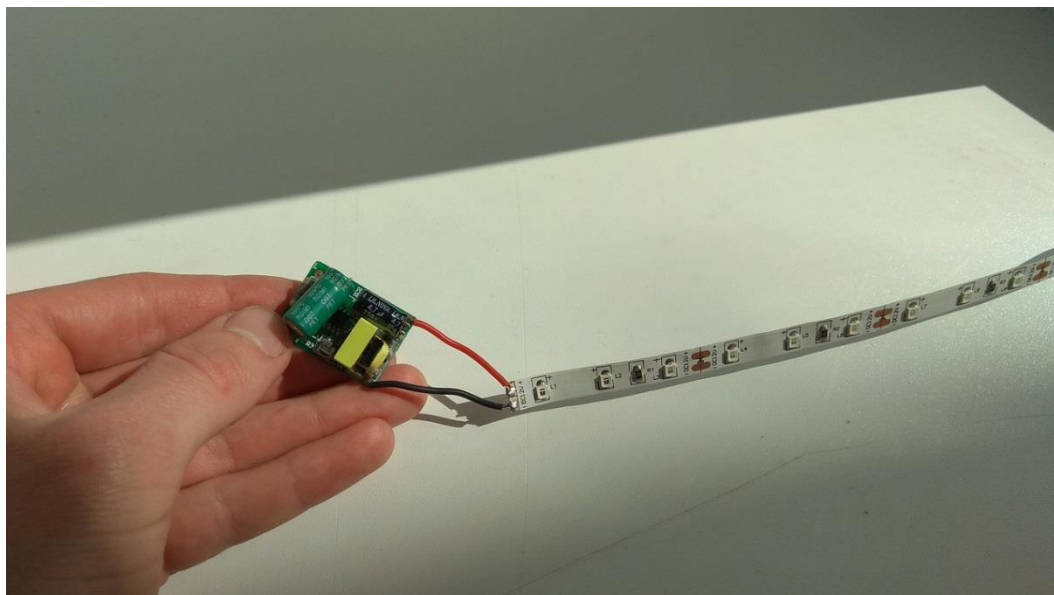


Рисунок 3.13 - Припайка токовых выводов к контактам светодиодной ленты

Для дополнительной изоляции драйвер лампы помещается в термоуса-

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

дочную трубку (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Расположение драйвера в термоусадочной трубке

Намазанный клеем цоколь надевается на драйвер и колбу так, чтобы насечка на цоколе совпадала с осью светодиодной ленты (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Нанесение клея на цоколь

										Лист
										62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

БР-02069964-11.03.04-10-19

Второй цоколь надевается на колбу при совмещении насечки на цоколе с осью светодиодной ленты в колбе.

Макет лампы представлен на рисунке 3.16.



Рисунок 3.16 – Макетный образец ультрафиолетовой лампы

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

4 Проведение экспериментальных исследований макетного образца светодиодного источника ультрафиолетового излучения

4.1 Описание метрологического комплекса

Исследование проводилось с использованием метрологического комплекса фирмы Gooch&Housego в составе [14]:

- светомерного шара OL IS 670 LED;
- спектрорадиометра OL 770 VIS/NIR;
- прецизионного источника постоянного тока OL410 - 200 PRECISION LAMP SOURCE;
- вспомогательной лампы для учёта влияния неактивных элементов;
- эталонной лампы.

Измерения проводят при следующих условиях, если иное не установлено в стандартах и технических условиях на ИС конкретных типов:

- температура окружающей среды: $(25 \pm 10) ^\circ\text{C}$;
- относительная влажность: $(65 \pm 20) \%$;
- атмосферное давление: $(101 \pm 4) \text{ кПа}$;
- напряжение питающей сети: $(220 \pm 22) \text{ В}$, частота тока 50 Гц.

Измерения параметров СД, светодиодных ламп и светодиодных модулей проводят при температуре окружающей среды $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ [5].

Комплектность измерительной установки приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1– Комплект измерительной установки

Наименование	Количество, шт
1	2
Фотоколориметрическая установка, в том числе:	1
– фотометрический шар OL IS 670 LED	1

заменяемый вход. Сменная диафрагма находится между соединительной муфтой и входом во внутренний спектрограф.

Многоканальный спектрорадиометр OL 770UV/VIS работает на 190 нм – 800 нм, оптимизированной $f/2$ вогнутой дифракционной решетке с дисперсией 24 нм/мм. Дифракционные компоненты второго порядка извлекаются с помощью линейного переменного пасс фильтра.

На рисунке 4.1 представлен спектрорадиометр OL 770UV/VIS.

В таблице 4.2 представлены характеристики спектрорадиометра OL 770UV/VIS.



Рисунок 4.1 - Спектрорадиометр OL 770UV/VIS

Таблица 4.2 – Основные технические характеристики спектро радиометра OL 770UV/VIS

Наименование характеристики	Значение характеристики
Спектральный диапазон, нм	200 ÷ 780
Шаг сканирования по длинам волн, нм	0,75
Оптическая полоса пропускной способности (с минимальным отверстием 100 мкм), мм	3,5
Спектральное разрешение, мм	0,6
Диафрагма, мкм	50 и 200
Оптическое фокусное расстояние, мм	140
Оптическая диафрагма	f/2
Электропитание осуществляется от: Номинальное напряжение электропитания, В Номинальная частота сети питания, Гц Потребляемый ток, А, не более	220±10 50 16
Условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °С - атмосферное давление, кПа - относительная влажность воздуха, %	25±2 От 45 до 80 От 84 до 107
Габаритные размеры, м, не более: - спектро радиометра - источник питания OL-410-200 - оптоволоконный кабель 770-7G-3.0 Ø3 мм - диафрагма 3 шт (Ø 0,5 мм; Ø 1,5 мм Ø 3 мм)	2×2,16×2,34 0,184×0,336×0,33 0,238×0,137×0,356 длина 3 м 0,028×0,081
Масса, кг, не более: - спектро радиометра - источник питания OL-410-200	10,2 9,8

Конфигурация спектро радиометра OL 770UV/VIS и интегрирующей сферы OL IS 670 LED для измерения общего спектрального потока излучения показана на рисунке 4.2.

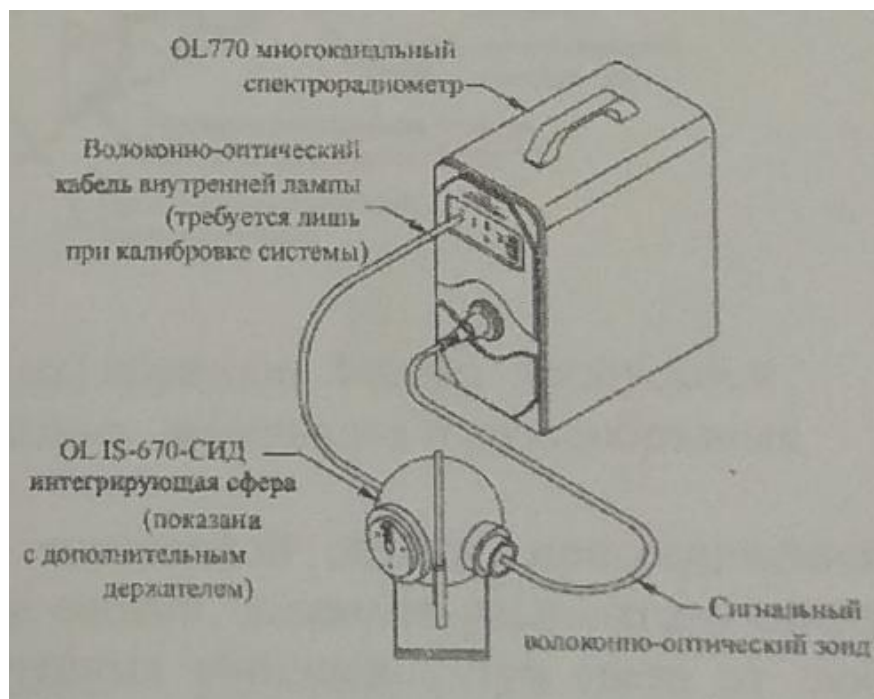


Рисунок 4.2 - Конфигурация для измерения общего спектрального потока излучения

Интегрирующая сфера OL IS 670 LED показана на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 - Интегрирующая сфера OL IS 670 LED

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

4.2 Определение времени стабилизации характеристик макетного образца

Вначале было определено время стабилизации характеристик УФ - лампы.

В таблице 4.3 представлены результаты измерений в течение времени стабилизации основных параметров макетного образца УФ СД лампы.

Таблица 4.3 – Время стабилизации основных параметров макетного образца

t, с	Энергетический поток, мВт	Мощность, Вт
0	660	9,10
15	656	9,15
30	650	9,00
45	643	8,90
60	635	8,95
75	628	9,05
90	622	9,10
105	618	9,07
120	615	9,03
135	613	8,96
150	611	8,99
165	610	9,00
180	610	9,00
195	610	9,00

По полученным данным измерений представлены графики зависимости изменения энергетического потока и мощности макетного образца в течение времени стабилизации (рисунки 4.4 - 4.5).

4.3 Измерение энергетического потока и мощности

4.3.1 Методы измерений энергетического потока излучения

Требования к оборудованию при измерении энергетического потока излучения следующие:

– размер фотометрического шара выбирают с учетом размеров, мощности и энергетического потока измеряемых ИС. Диаметр фотометрического шара должен составлять не менее шестикратного значения длины источника излучения (без цоколя), но не менее 1 м для разрядных ламп высокого давления мощностью до 400 Вт и не менее 1,5 м для разрядных ламп мощностью свыше 400 Вт. Для трубчатых ламп накаливания и люминесцентных - не менее 1, 2 - кратного значения общей длины лампы. Диаметр измерительного отверстия не должен превышать 1/10 диаметра фотометрического шара.

– светорассеивающее стекло устанавливают в измерительном отверстии перпендикулярно к радиусу фотометрического шара. Поверхность светорассеивающего стекла, обращенная к внутренней стороне фотометрического шара, должна быть матовой. Пропускание светорассеивающих стекол должно быть неселективным в видимой области спектра. Распределение пропущенного света светорассеивающим стеклом должно быть рассеянным. Стекло не должно флуоресцировать.

– экран фотометрического шара по своим размерам и местоположению по отношению к измерительному отверстию должен обеспечивать защиту измерительного отверстия от прямого излучения источника излучения. Размеры экрана подбирают так, чтобы обеспечить наименьшее затенение поверхности фотометрического шара. Диаметр тени не должен превышать двойного диаметра измерительного отверстия. Экран должен быть расположен от источника излучения на 1/2 - 2/3 расстояния между источника

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

излучения и измерительным отверстием перпендикулярно к оси, проходящей через центр измерительного отверстия и световой центр источника излучения. Размеры и форма экрана должны соответствовать типу измеряемых источника излучения

– Для учета влияния на результат измерения приспособлений (неактивных элементов), находящихся в фотометрическом шаре, внутри шара устанавливают вспомогательный источник излучения, расположенный на противоположной стороне от измерительного отверстия. Допускается другое расположение вспомогательного источника излучения на стенке шара. Перед вспомогательным источником излучения устанавливают непрозрачный экран, препятствующий попаданию его излучения на измеряемый источник излучения, контрольную или светоизмерительную лампы и измерительное отверстие. Вспомогательный источник излучения должен обладать стабильными электрическими и световыми параметрами.

– внутренняя поверхность шара и приспособления для установки и включения ламп должны быть окрашены матовой (неселективной) краской белого цвета. Коэффициент отражения внутренней поверхности должен быть не менее 0,8. Разница между коэффициентами отражения в разных частях шара в процессе измерения должна быть не более 3%.

Требования к проведению измерения энергетического потока:

– источника излучения располагают в рабочем положении, если иное не оговорено в стандартах или технических условиях на источник излучения конкретных типов:

– одноцокольные в вертикальном положении, цоколем вверх;

– двухцокольные в горизонтальном положении, в плоскости, параллельной плоскости измерительного отверстия фотометрического шара;

– источники излучения, контрольные или светоизмерительные лампы устанавливают так, чтобы их световые центры располагались в центре шара.

При установленном экране ни один элемент источника излучения,

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

контрольной или светоизмерительной ламп (кроме цоколя) не должен просматриваться из измерительного отверстия фотометрического шара;

– источника излучения с направленным излучением устанавливают так, чтобы ось светового пучка была направлена перпендикулярно линии, соединяющей центр фотометрического шара с центром измерительного отверстия.

4.3.2 Методы измерений электрических параметров

Электроизмерительные приборы должны соответствовать требованиям ГОСТ 22261. При питании переменным током класс точности электроизмерительных приборов должен быть не ниже 0,5, при питании постоянным током - не ниже 0,2. При использовании аналоговых электроизмерительных приборов значения измеряемых величин должны находиться во второй половине шкалы.

Для измерений применяют стабилизированные источники питания, обеспечивающие требуемую точность измерений контролируемых параметров.

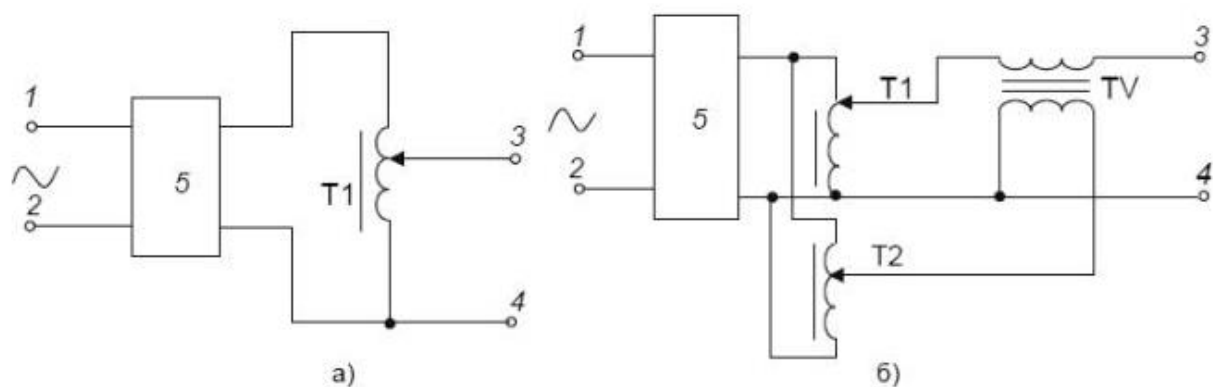
Для питания разрядных и светодиодных ламп и светодиодных модулей применяют источники переменного тока (рисунок 4.6).

Система питания переменным током должна состоять из источника стабилизированного синусоидального напряжения и регулирующих устройств, позволяющих трансформировать напряжение.

Систему питания с добавочным трансформатором (рисунок 4.6 б) применяют при необходимости точной регулировки питающего напряжения в широких пределах.

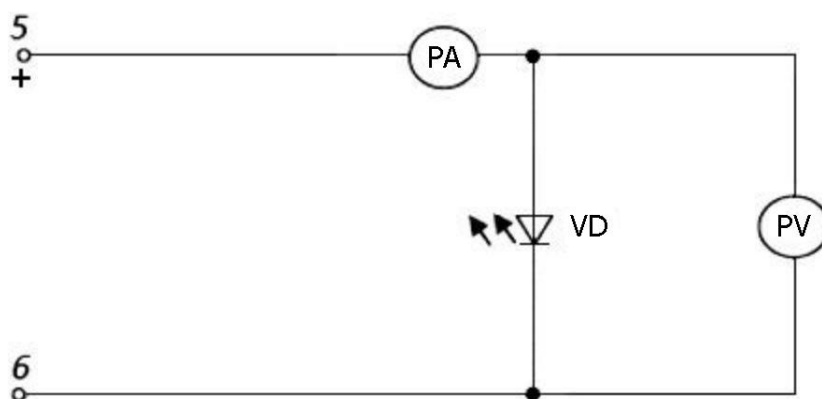
Схема измерений электрических параметров светодиодных ламп приведена на рисунке 4.7

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73



1, 2- выводы для подключения источника переменного тока; 3, 4 - выводы для подключения системы измерения; 5 - стабилизатор напряжения; T1, T2 - регулировочные автотрансформаторы; TV - добавочный трансформатор напряжения

Рисунок 4.6 – Схемы систем питания переменным током



5, 6 - выводы для подключения системы питания (рисунок 3.1); PV - вольтметр для измерения напряжения питания; PA - амперметр для измерения тока; VD - измеряемая светодиодная лампа

Рисунок 4.7 – Схема измерения электрических параметров светодиодных ламп

Измерения электрических параметров светодиодных ламп проводят при установившемся электрическом режиме, но не менее чем через 15 мин их непрерывного горения.

Электрические параметры источника излучения измеряют при номинальном (расчетном или испытательном) напряжении, или токе, или номинальной мощности.

4.3.3 Измерение начальных параметров макетного образца

Были проведены измерения начальных параметров макетного образца светодиодной ультрафиолетовой лампы. Результаты исследований представлены в таблице 4.4

Таблица 4.4 - Начальные параметры макетного образца светодиодной ультрафиолетовой лампы

U_c , В	I, мА	P, Вт	Φ_e , мВт
230	40	9	610

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- макетный образец светодиодной ультрафиолетовой лампы обладает мощностью 9 Вт;
- энергетический поток макетного образца составил 610 мВт.

4.4 Исследования спектральных характеристик

На рисунке 4.8 представлен спектр излучения макетного образца светодиодной УФ - лампы.

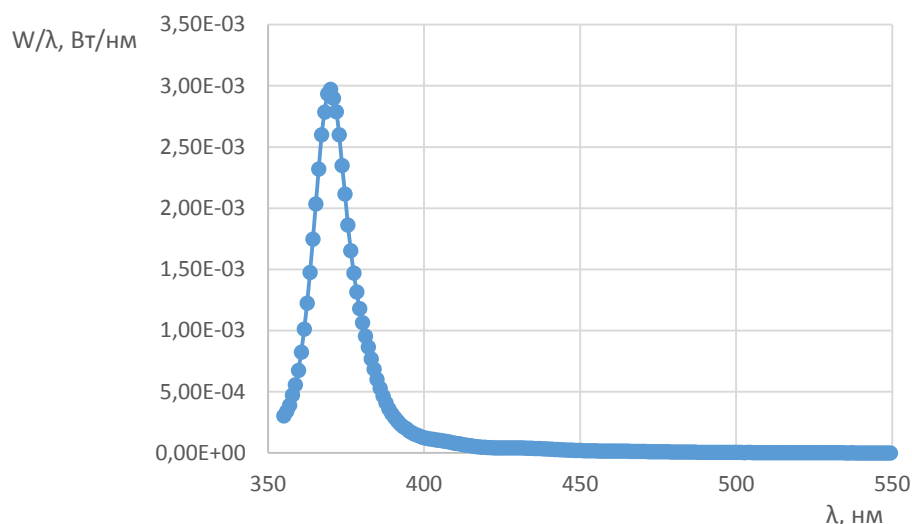


Рисунок 4.8 – Спектр излучения макетного образца

Анализ полученного спектра позволяет сделать следующие выводы:

- доминирующая длина волны излучения макетного образца составляет 365 нм;
- максимальное спектральное излучение равно $2,88 \cdot 10^{-3}$ Вт/нм;
- энергетический поток макетного образца равен 610 мВт.

Разработанная ультрафиолетовая светодиодная лампа является аналогом лампы ЛУФТ 10 П.

В таблице 4.5 представлены характеристики разработанного макетного образца УФ лампы и лампы ЛУФТ 10 П.

Таблица 4.5 – Характеристики разработанного макетного образца УФ лампы и лампы ЛУФТ 10 П

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В		Сила тока, А	Продолжительность горения, ч	Поток излучения ($\lambda = 370$ нм), Вт
		сети	на лампе			
Макетный образец	9	220	12	0,040	10000*	0,61
ЛУФТ 10 П	10	220	45	0,230	2000	0,60

* Прогнозируемое значение.

Мощность и энергетический поток разработанной УФ лампы и лампы ЛУФТ 10 П практически одинаковы, но учитывая то, что срок службы разработанной лампы ожидается не менее 10000 ч, можно предположить, что она более энергоэффективная, чем лампа ЛУФТ 10 П.

Разработанную ультрафиолетовую лампу можно применять:

- в установках, использующих фотохимическое и биологическое действие УФ –излучения;
- для отверждения пластмасс;
- в полиграфии;
- в ловушках для ловли насекомых.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы было выполнено следующее:

- проведен анализ научно-технической информации отечественного и зарубежного опыта по источникам ультрафиолетового излучения;
- изучен принцип действия УФ светодиодов;
- проанализированы светодиодные источники УФ излучения;
- проведен расчет светодиодного драйвера напряжением 12 В и током 720 мА;
- выбран сорт стекла СЛ40 - 1 для ультрафиолетовой светодиодной лампы;
- подобраны ультрафиолетовые светодиоды с максимумом интенсивности излучения, приходящимся на длину волны 365 нм.

С использованием выбранных компонентов был собран макетный образец СД ультрафиолетовой лампы.

Мощность макетного образца составила 9 Вт. Время стабилизации электрических и энергетических параметров составило 3 минуты 25 секунд.

Экспериментальные исследования с использованием метрологического комплекса фирмы Gooch&Housego показали, что:

- доминирующая длина волны излучения макетного образца составляет 365 нм;
- максимальное спектральное излучение равно $2,88 \cdot 10^{-3}$ Вт/нм;
- энергетический поток макетного образца равен 610 мВт.

Исследования показали, что разработанный макетный образец является аналогом люминесцентной ультрафиолетовой лампы ЛУФТ 10 П с энергетическим потоком 0,6 Вт.

Таким образом, задачи, поставленные в бакалаврской работе, выполнены полностью.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

По результатам проведенных исследований был сделан доклад на XXIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва 24.05.2019 г и подготовлена статья для публикации «Обзор источников излучения бактерицидного действия».

Результаты выполненной работы могут быть использованы в учебном процессе, а также на основе созданного макетного образца возможна разработка светодиодной ультрафиолетовой лампы.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Виды и типы цоколей ламп [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gorodsveta.ru/stati/typy-tsokoley-lamp/>.
- 2 Галанин Н. Ф. Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. Л.: Медицина, 1969.
- 3 ГОСТ Р 54814-2011/IEC/TS 62504:2011. Светодиоды и светодиодные модули для общего освещения. Термины и определения. Введ. 2012-07-01. – М. : Стандинформ, 2012. – 16 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095084>.
- 4 ГОСТ Р 54815-2011/IEC/PAS 62612:2009 Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжения свыше 50 В. Эксплуатационные требования. Введ. 2012-07-01. – М. : Стандинформ, 2012. – 11 с.
- 5 ГОСТ Р 55702 – 2013. Источники света электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. – Введ. 2014–07–01. – М. : Стандинформ, 2014. – 43 с.
- 6 Драйвер для светодиодов HV9910 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://soundbarrel.ru/pitanie/drv_led.html.
- 7 Излучение ультрафиолетовое. Величины и единицы. Термины и определения. Руководящий технический материал РТМ 3-381-73, 1974.
- 8 Каталог продукции ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vniis.ru/produksiya/istochniki-sveta-svetovye-pribory-i-ikh-komponenty/lampy-ultrafioletovye>.
- 9 Каталог продукции LG Innotek [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lasercomponents.com/de-en/product/uva-leds-365-415-nm/>
- 10 Каталог продукции Philips [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lighting.philips.ru/prof/lamps/special-lamps/medical-lamps> .

23 Чуркина Н. И., Литюшкин В. В., Сивко А. П. Основы технологии электрических источников света. – Саранск.: Морд. кн. изд-во, 2003. – 344с.

24 Энергосберегающие технологии в промышленности: Учебное пособие / А. М. Афонин, Ю. Н. Царегородцев и др. – 2 изд. – М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 272 с. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=492544>.

					БР-02069964-11.03.04-10-19	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82